
Reconsidération d'Orgnac 3 dans le temps et l'espace : implications pour la reconstruction des origines néandertaliennes – *version abrégée*

Jason E. Lewis, Jean Combiert et Ludovic Slimak



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/pm/4099>

DOI : [10.4000/pm.4099](https://doi.org/10.4000/pm.4099)

ISSN : 2105-2565

Éditeur

Association pour la promotion de la préhistoire et de l'anthropologie méditerranéennes

Référence électronique

Jason E. Lewis, Jean Combiert et Ludovic Slimak, « Reconsidération d'Orgnac 3 dans le temps et l'espace : implications pour la reconstruction des origines néandertaliennes – *version abrégée* », *Préhistoires Méditerranéennes* [En ligne], 10 | 2022, mis en ligne le 19 juillet 2023, consulté le 05 septembre 2023. URL : <http://journals.openedition.org/pm/4099> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/pm.4099>



Creative Commons - Attribution 4.0 International - CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Rethinking Orgnac 3 in Time and Space: Implications for Reconstructing Neandertal Origins

Jason E. Lewis^{a*}, Jean Combier[†] and Ludovic Slimak^b

Keywords

Neandertals, Mediterranean France, Middle Pleistocene, Karst, Acheulean, Levallois

Abstract

An important aim in paleoanthropological and archaeological research is to clarify the poorly resolved record of the Middle Pleistocene (MP). Filling in the gaps of the Eurasian MP furthers our understanding of the behavioral and biological evolution of archaic humans, Neanderthals, Denisovans and their ancestors. Orgnac 3, located in Mediterranean France, is particularly suited to address these issues. This paper introduces the site to new readers, summarizes the previous work performed on the site and its material, and offers different views based on new analysis of its faunal material. Based on the currently available evidence, the Orgnac 3 sequence is likely far older than previously thought and might date to OISs 12-8, not only 9-8 as traditionally proposed. The hominin teeth, which have not been described in detail or assigned to a taxon, would date to ~375 - 400,000 years ago, the focal period of the Neandertal/Denisovan/modern human population divergence debate. More accurate and precise analyses of Orgnac 3's paleontological, archaeological and geological material are needed to clarify our understanding of hominin evolution during the MP.

Mots-clés

Néandertaliens, France Méditerranéenne, Pléistocène Moyen, Karst, Acheuléen, Levallois

Résumé

L'un des objectifs importants de la recherche paléanthropologique et archéologique est de clarifier les données qui restent encore mal cernées du Pléistocène moyen (PM). Comblé les lacunes du PM eurasiatique nous permet de mieux comprendre l'évolution comportementale et biologique des humains archaïques, des Néandertaliens, des Denisoviens, et de leurs ancêtres. Orgnac 3, situé en France méditerranéenne, est particulièrement adapté pour aborder ces questions. Cet article présente le site à de nouveaux lecteurs, résume les travaux antérieurs réalisés sur le site et son matériel, et propose différents points de vue fondés sur une nouvelle analyse de son matériel faunique. Sur la base des éléments de démonstration actuellement disponibles, il faut envisager que la séquence d'Orgnac 3 soit probablement beaucoup plus ancienne que ce qui est généralement accepté. Cette vaste séquence pourrait ainsi dater des OIS 12-8, et non seulement des OIS 9-8 comme cela a été traditionnellement proposé. Les dents d'homininés, qui n'ont pas été décrites en détail ni assignées à un taxon, dateraient d'environ 375 à 400 000 ans, période centrale du débat sur la divergence entre les populations néandertalienne, dénisovienne et humaine moderne. Des analyses plus exactes et plus précises du matériel paléontologique, archéologique et géologique d'Orgnac 3 sont nécessaires pour clarifier notre compréhension de l'évolution des hominins pendant le PM.

Author contributions:

J. Combier performed original excavations, lithic analyses, allowed access to the site's material, and helped write sections of the paper. J. Lewis and L. Slimak reviewed existing literature, performed renewed analyses on some of the site's material, and co-wrote the overall paper.

Reçu / Received 22.03.2018 ; Version révisée reçue / Received in revised form 11.11.2022 ; Accepté / Accepted 03.01.2023

^a Department of Anthropology and Turkana Basin Institute, Stony Brook University, Stony Brook, New York 11794-4364, USA. jason.lewis@stonybrook.edu

* Corresponding Author.

^b UMR 5288, Centre for Anthropobiology and Genomics of Toulouse, CNRS, Université de Toulouse Jean Jaurès, Maison de la Recherche, 5 allées Antonio-Machado, 31058 Toulouse Cedex 9, France. slimak@univ-tlse2.fr

[†] deceased

*Version abrégée****Reconsidération d'Orgnac 3 dans le temps et l'espace : implications pour la reconstruction des origines néandertaliennes***

Le gisement d'Orgnac 3 (Ardèche) enregistre une vaste séquence du Pléistocène moyen où sont préservés l'ensemble des données biostratigraphiques (macro- et micro-faunes, microfaunes, pollens, charbons...) ainsi que de riches industries lithiques et des restes d'homininés comptant parmi les plus anciens actuellement reconnus dans le Pléistocène moyen français. Orgnac 3 représente l'une des rares séquences permettant sur le territoire français d'évaluer l'organisation des sociétés du Paléolithique inférieur et leurs évolutions à travers une vaste succession stratigraphique.

Nous renvoyons le lecteur aux sections de la version anglaise et aux références qui y figurent en ce qui concerne la découverte du site et l'histoire de la recherche sur son matériel archéologique et faunique. Cette version abrégée en français se focalise sur la compréhension détaillée de la stratigraphie, de la datation radiométrique, et de la manière dont celles-ci s'alignent ou non avec les informations biochronologiques et autres sur le contexte du site.

FORMATION DU SITE

En tenant compte des carottages, des résultats des fouilles et de différents indices géologiques, il a été conclu qu'Orgnac 3 ressemble plus à une grotte effondrée qu'à une véritable doline (Combiar 1967). La partie ouest du site correspondrait à l'entrée de la grotte (Aouraghe 1992). Jean Combiar (Combiar 1967) et Évelyne Debard (Debard 1988) ont tous deux proposé plusieurs étapes dans le développement du site (fig. 4), depuis la formation de ce karst jusqu'à son état de doline complètement remplie. Au stade A, l'infiltration des eaux souterraines dans la masse de calcaire dans le sens du pendage du plateau a créé une cavité souterraine. Au stade B, la cavité s'agrandit progressivement sous l'effet de l'érosion induisant des changements structurels de ses volumes. Au stade C, la cavité prend la forme d'une grande grotte, avec des débris rocheux tombant du plafond et la formation de stalagmites et de coulées stalagmitiques. Au stade D, le toit s'effondre partiellement, donnant au site sa configuration d'abri rocheux. Au cours du stade final, E, les derniers surplombs s'effondrent, et la doline se remplit progressivement de sédiments.

STRATIGRAPHIE

J. Combiar a initialement divisé le dépôt d'Orgnac 3 en 21 couches sédimentologiques et 10 niveaux archéologiques (Combiar 1967, 1979 ; fig. 5, tabl. 1). É. Debard (Debard 1988), sur la base de ses analyses sédimentologiques et granulométriques a affiné cette stratigraphie en divisant et subdivisant certaines des couches initiales (fig. 5). Samir Khatib (Khatib 1989), sur la base d'autres analyses sédimentologiques et géochimiques, a proposé quant à lui de regrouper les couches en quatre paquets sédimentologiques différents : le paquet I se situe sous le niveau 8 ; le paquet II comprend les niveaux archéologiques 8 et 7 ; le paquet III comprend les niveaux archéologiques 6, 5a et b, 4a et b, et 3 ; le paquet 4 comprend les niveaux archéologiques 2 et 1. Saïd Laafar (Laafar 1995) envisage quant à lui un autre schéma de regroupement sur la base de l'analyse de microfaciès (tabl. 1).

Le niveau 8 est le niveau archéologique le plus bas, situé entre 4,25 et 4,0 m de profondeur, au sommet de « l'Ensemble I » de S. Khatib et de la « couche k » de É. Debard, désigné sur la base de la présence de 17 artefacts lithiques. Elle n'a été fouillée que sur une surface de 21 m² (selon les plans actuels), dans les carrés C-G 8-11. Les sédiments situés sous ce niveau archéologique ont été fouillés sur une distance supplémentaire d'environ 2,5 m dans les zones C-G 10-11, mais peu d'artefacts lithiques ont été trouvés (bien que la faune fossile, principalement constituée de carnivores, soit présente).

Avant d'aborder le niveau 8 lui-même, il est important de comprendre l'histoire de l'ouverture de la cavité karstique d'Orgnac 3 et de la mise en place des dépôts qui s'y trouvent. É. Debard décrit ces étapes initiales :

Reposant sur le substratum, les premiers dépôts se sont réalisés sous la voûte d'une cavité encore peu ouverte sur l'extérieur. La sédimentation générale est de type grossier ; elle est entrecoupée d'éboulements restant cependant réduits. Le matériel grossier provient essentiellement des parois ; le matériel fin est essentiellement d'origine extérieure. L'ensemble des dépôts suit la pente générale du substratum, qui s'incline vers le sud-est.

La présence de la voûte est attestée par le concrétionnement des sédiments en plusieurs points du remplissage, celle d'une ouverture de la cavité vers l'extérieur par l'observation de fragments gélifs détachés des parois et de cailloux gélifs. Cette ouverture n'était toutefois pas suffisante pour permettre aux oiseaux prédateurs de nicher et de rejeter leurs pelotes. Seuls quelques carnivores ont pu s'y glisser et ont été piégés dans l'aven.

Cette première phase de sédimentation se termine par la disparition d'une partie des derniers dépôts qui, sans doute par un phénomène de soutirage, a été entraînée dans une zone profonde vers l'est-sud-est (Debard 1988 : 90).

Au moment du dépôt de cette couche, le site devait se présenter essentiellement sous la forme d'une grotte à ouverture verticale ou oblique plutôt que comme un gouffre ; après la dissolution initiale des carbonates et l'ouverture de la cavité (qui a très probablement eu lieu au cours d'une période humide et chaude), une période sèche et fraîche se met en place durant laquelle se déposent des sédiments éoliens (qui forment les quelque 2,5 m de couches non archéologiques sous le niveau 8 (Debard 1988 : 70, Khatib 1989 : 174). Il semble que le site soit, durant cette phase, peu anthropisé (peut-être du fait de la pente en fond de cavité), et les restes de faune dans ces couches pourraient représenter des animaux tombés dans la cavité qui pourrait se présenter alors sous la forme d'un puits. Certaines faunes auraient aussi pu y hiberner (Khatib 1989 : 174). É. Debard, notant l'aspect roulé des artefacts lithiques du niveau 8 et le faciès sédimentologique de cette couche, suggère que « L'essentiel du matériel est amené de l'extérieur par des ruissellements qui l'évalent d'Ouest en Est. Il en résulte une disposition en biseau des dépôts [amincissement latéral]. Ces ruissellements sont à l'origine du remaniement d'un premier 'habitat' acheuléen et dont l'industrie nettement roulée, forme le niveau 8 » (Debard 1988 : 90).

Le niveau archéologique 7 est situé entre 4 et 3,5 m de profondeur, dans la partie supérieure de « l'Ensemble II » de S. Khatib et de la « couche j » de É. Debard. Il est séparé du niveau 8 par près d'un demi-mètre de matériel archéologiquement stérile. É. Debard décrit ainsi le contexte géologique :

C'est la phase principale d'ouverture de la cavité dans la partie sud du gisement. La sédimentation grossière est prédominante. La répartition des blocs et des cailloux, l'évolution de leur taille permet de suivre le recul de l'encorbellement d'ouest en est, du sud au nord, au fur et à mesure des dépôts. Ainsi, jusqu'au dernier effondrement, à l'origine de la couche j1, une voûte existait au-dessus du remplissage dans la zone des carrés D et C. Celle-ci est attestée par les concrétionnements des sédiments, sans doute localisés à l'aplomb d'anciennes gouttières, et la stalagmite en place, dressée sur la couche j3 au niveau le carré C8. L'ouverture progressive de la cavité permet l'installation de prédateurs et de l'homme (niveau 7) (Debard 1988 : 90).

Des matériaux allochtones ont également été apportés par l'eau courante et l'action colluviale, tels que des

limons et des sables de parcours provenant du plateau, et des pierres corrodées provenant du système karstique lui-même (Khatib 1989 : 166). S. Khatib et É. Debard signalent tous deux l'importance des précipitations carbonatées durant cette période, avec le dépôt de la stalagmite et de la coulée. Plus précisément, S. Khatib déclare : « Les deux dalles stalagmitiques d'Orgnac 3 sont situées dans le même niveau stratigraphique. Elles se sont formées au même moment, dans un environnement riche en carbonates de calcium et grâce à la présence de micro-organismes, sous un climat chaud » (Khatib 1989 : 147).

Le niveau 6 est situé entre 3,5 et 3 m de profondeur, à la base de l'Ensemble III de S. Khatib et dans la couche i2 de É. Debard. Selon É. Debard, il faut commencer par la couche i2 et continuer jusqu'à d1 (niveau archéologique 2) :

Elle se caractérise par une instabilité des parois à l'origine d'une sédimentation grossière constante. Les parties de la voûte encore en encorbellement dans la zone nord finissent de s'effondrer. La cavité était largement ouverte, une partie des matériaux grossiers provient probablement de l'extérieur en même temps que les sédiments fins. Ces derniers ont une origine éolienne marquée. Des percolations permanentes liées à la proximité de la paroi déposent des carbonates sous les cailloux.

Les hommes se sont succédé en plusieurs épisodes. Ils se sont installés dans une sorte de dépression largement ouverte et se comblant progressivement au fur et à mesure de la sédimentation. Les parois sans doute bien plus élevées que le niveau actuel d'affleurement du calcaire, leur assuraient localement un abri vis-à-vis des intempéries et des prédateurs (Debard 1988 : 90).

Le niveau 5b est situé entre 3 et 2,5 m de profondeur, au milieu de l'Ensemble III de S. Khatib (sous-ensemble IIIa) et dans la couche hb de É. Debard. Elle est séparée du niveau 6 inférieur par les couches archéologiquement stériles i1 et hc (tabl. 1 ; Debard 1988) mais entre directement en contact avec le niveau 5a supérieur. Le contexte géologique est globalement le même que celui décrit par É. Debard pour le niveau 6. S. S. Khatib décrit cette couche comme contenant une abondance de grosses pierres et de blocs, avec de grandes quantités de pyroxène et de quartz. Le matériel autochtone se présente principalement sous la forme de pierres et de gros blocs provenant des parois et du plafond restant de la cavité, tandis que le matériel allochtone est principalement constitué de limons, de sables grossiers et de quartz qui ont pénétré dans la cavité par voie colluviale depuis le plateau environnant.

Le niveau 5a est situé entre 2,5 et 2,0 m de profondeur, au milieu de l'ensemble III de S. Khatib (interface entre les sous-ensembles IIIa et IIIb) et dans la couche ha de É. Debard. Le niveau 5a se trouve directement sur la pointe du niveau 5b, mais semble séparé du niveau 4b par une fine couche de sédiments stériles.

Le niveau 4b est situé entre 2 et 1,8 m de profondeur, au milieu de l'Ensemble III de S. Khatib (sous-ensemble IIIb) et dans la couche g de É. Debard. Le niveau 4b est séparé du niveau 4a par la « couche fb » archéologiquement stérile (composée de gros blocs tombes). S. Khatib a noté une plus grande proportion d'argiles, de sphènes, de feldspaths potassiques et de plagioclases, une granulométrie plus élevée des sables et une diminution du quartz (Khatib 1989 : 167). Le niveau 4a est situé entre 1,8 et 1,5 m de profondeur, au milieu de l'ensemble III de S. Khatib (sommet du sous-ensemble IIIb) et dans la couche fa de É. Debard. Le niveau 4a est directement sous-jacent au niveau 3.

Le niveau archéologique 3 est situé entre 1,5 et 1,0 m de profondeur, au sommet de l'Ensemble III de S. Khatib (sous-ensemble IIIc) et correspond à la « couche e » de É. Debard. Elle se situe directement entre les niveaux 4a et 2, sans hiatus sédimentaire discernable ni érosion entre les couches. S. Khatib décrit comment cette couche contient la plus haute teneur en silts et en quartz, et la plus faible teneur en sables fins de tout le site (Khatib 1989 : 167). Le matériel autochtone se présente principalement sous la forme de pierres et de gros blocs provenant des murs et du plafond restant de la cavité, tandis que le matériel allochtone est principalement constitué de silts, de sables grossiers et de quartz qui pénètrent dans la cavité par voie colluviale depuis le plateau environnant et, à partir du niveau 3, d'une forte composante éolienne avec une augmentation des zircons et des micas.

Le niveau archéologique 2 est situé entre 1 et 0,25 m de profondeur, à la base de l'ensemble IV de S. Khatib (sous-ensemble IVa) et de la couche d2 de É. Debard. Elle est directement au-dessus du niveau 3, mais séparée du niveau 1 par la « couche d1 » de É. Debard qui, comme décrit ci-dessous, est un horizon pédogénique qui a été partiellement éliminé par l'érosion, avant le dépôt de la « couche c » qui contient le niveau 1. É. Debard décrit le contexte géologique de cette couche :

C'est une phase complexe dont l'importance et la durée sont en grand partie inconnues. Plusieurs phénomènes se sont succédé et vraisemblablement les traces de certains n'ont pas été conservées.

Un premier ensemble d'évènements comprend la formation d'un certain nombre de dépôts après la couche d1 et leurs transformations pédologiques. Les couches d1 et d2, consolidées en brèche, constituent l'horizon d'accumulation calcaire du paléosol.

Un deuxième ensemble de phénomènes, de type érosif, a abouti à la disparition des niveaux supérieurs du paléosol et d'une partie de la couche d1. La partie supérieure de cette dernière est creusée de cuvettes et d'entonnoirs qui la disloquent parfois presque entièrement (Debard 1988 : 90).

S. Khatib est d'accord, décrivant comment la cavité était presque pleine, avec peu de roches érodées des parois et la plupart des sédiments, principalement des argiles, sont d'origine éolienne (Khatib 1989 : 169).

Le niveau archéologique 1 se situe entre 0,25 et 0 m de profondeur, au sommet de l'Ensemble IV de S. Khatib (sous-ensemble IVb) et correspond à la « couche c » de É. Debard. Le niveau 1 est séparé chronologiquement du niveau 2 par une quantité de temps potentiellement considérable. Le contexte géologique et l'origine des sédiments sont globalement les mêmes que ceux décrits par É. Debard et S. Khatib pour le Niveau 2, S. Khatib notant que le toit s'est totalement effondré et la présence d'une proportion accrue de transport éolien de plagioclases, pyroxènes et zircons (Khatib 1989 : 170).

S. Laafar (Laafar 1995) a effectué des analyses micromorphologiques sur l'ensemble de la séquence d'Ornac 3, fournissant des planches couleur détaillées de sections minces agrandies en lumière naturelle et polarisée. Les résultats de S. Laafar sont généralement en accord avec les interprétations de É. Debard et S. Khatib, et apportent des éléments supplémentaires sur l'histoire post-dépositionnelle du site qui méritent une attention particulière. Dans les couches géologiques i et j, correspondant aux niveaux 6 et 7, il note : « Les traits carbonatés sont représentés par la recarbonatation dans la masse basale et en particules de microspartite. Les phénomènes de dissolution, surtout les golfes et vides isolés, affectent les éléments calcaires (fragments de la paroi ou d'encroûtements stalagmitiques) et la masse basale. [Dans la couche i], ce sous-ensemble renferme des cailloux (calcaires et fragments de plancher stalagmitique) très abondants à fabrication ouverte. Ils présentent des encroûtements carbonatés polarisée (sur la face inférieure), affectés aussi par des vides de dissolution » (Laafar 1995 : 44). À propos des fossiles de ces couches, il déclare : « Les ossements sont fragmentés dont les fissures sont remplies de carbonates secondaires... Les

dépôts phosphatés sont très restreints à des fragments de coprolithes à inclusions détritiques, osseuses et de dépôts épigénisant des carbonates (encroûtement phosphaté) » (Laafar 1995 : 46).

À propos des couches h à f (niveaux 5b à 4a), Laafar rapporte : « La masse basale et surtout la fraction fine, montrent un enrichissement en grains sparitiques, de couleur rougeâtre. Certains vides sont comblés par des carbonates sparitiques, sous forme de pseudomorphose racinaire. Vers le sommet, les carbonates imprègnent toute la masse basale ainsi que les structures biologiques » (Laafar 1995 : 48), et « Les os sont abondants et fracturés... et parfois affectés par des carbonates sparitiques secondaires. Certains ossements sont inclus pris des agrégats arrondis » (Laafar 1995 : 48). Pour les couches e et d (niveaux 3 et 2), il précise : « Les traits carbonatés se présentent sous la forme d'une imprégnation intense de la couche d. Cette imprégnation est construite par des sparites et microsparites claires imprégnant partiellement la masse basale et envahissant les grains de sable. Vers le sommet de cette couche d et à l'est du site, on a associé au faciès sparitique, le faciès aciculaire visible dans les vides » (Laafar 1995 : 52), et « comprend une abondance d'éléments figurés à ossements fracturés ou non, calcinés et ferruginisés par des oxydes dont les vides sont remplis de microsparite » (Laafar 1995 : 52). Veuillez consulter la figure SX pour des images prises pendant notre travail de la façon dont cette altération, cette brèche et cette expansion post-dépôt ont affecté les fossiles macrofauniques du site.

A. Djerrab (Djerrab 2001) a réalisé une étude de susceptibilité magnétique des couches d'Orgnac 3, et S. Laafar, S. Abdessadok, & A. Djerrab (Laafar et al. 2008) ont publié une analyse combinée de micromorphologie et de susceptibilité magnétique des foyers de la séquence.

LA DATATION RADIOMÉTRIQUE

Volcaniques

Des sédiments volcaniques ont été trouvés en très petites quantités tout au long de la séquence d'Orgnac 3. Du clinopyroxène vert a été trouvé dans le niveau 2 du site. É. Debard et J.-F. Pastre ont corrélé ces sédiments à ceux provenant d'une éruption du Mont-Dore (situé à quelques centaines de kilomètres au nord-ouest), les auteurs précisant : « Il est très probablement corrélé à une émission de trachyandésite des dernières éruptions du [volcan] Sancy apparaissant vers 0,30 Ma » (Debard & Pastre 1988 : 1517). De plus, la datation par traces de

fission du même sédiment a fourni un âge de 298 ± 55 ka pour le niveau 2 (Khatib 1989, 1994). Des sphères éoliennes ont également été trouvées dans la séquence, É. Debard et J.-F. Pastre déclarant : « Nous notons cependant quelques [sphères] frais dans les couches j4 et i2 [niveaux archéologiques 7 et 6 respectivement] qui pourraient provenir d'émissions acides de trachyandésite qui marquent le début de la phase terminale de l'activité du Sancy vers 0,4 Ma » (Debard & Pastre 1988 : 1517).

V. Michel et al. (Michel et al. 2011, 2013) ont effectué de nouvelles estimations de l'âge isotopique par fusion totale $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur 57 populations de grains de sanidine provenant de la même source volcanique au niveau 2. Onze ont été exclus des résultats pour avoir produit des âges trop vieux (>550 ka) ou trop jeunes (277,8 ka). La moyenne pondérée 2σ des 46 échantillons restants est de $302,9 \pm 2,9$ ka, ce qui correspond aux estimations précédentes (tabl. 2).

Uranium/Thorium et résonance de spin électronique (ESR)

La plupart des dates radiométriques de la séquence d'Orgnac 3 proviennent d'analyses de séries d'uranium et d'analyses ESR d'échantillons prélevés à la fois sur le plancher stalagmitique et sur la stalagmite de 47 cm de haut située dans les niveaux inférieurs du site (fig. 6). G. Shen (Shen 1985) a indiqué que le plancher stalagmitique s'est formé au sommet du niveau 6, et que la stalagmite s'est formée au sommet du niveau 8 et a atteint le niveau 6. Des études sédimentologiques, géomorphologiques et géochimiques ultérieures indiquent que le plancher et la stalagmite se trouvent toutes deux au niveau 7 (Debard 1988, Khatib 1989 : 145). Comme on peut le voir sur la figure 6 (et d'autres dans Michel et al. 2013), la stalagmite et le plancher stalagmitique ne présentent pas la structure de calcite blanc pur des spéléothèmes typiques, mais plutôt une texture crayeuse, poreuse, et mal stratifiée. Que cette apparence est due à la façon dont le carbonate a été précipité (biomédiatisé ou non ; Pedley 1990, Gandin & Capezzuoli 2008), ou à l'altération post-dépositionnelle décrite ci-dessus et ci-dessous, ce matériau semble assez sensible à une contamination par de l'uranium, du thorium ou d'autres matériaux remobilisés, ce qui affecterait particulièrement les séries d'uranium et les dates ESR (Srdoc et al. 1994). Comme la précipitation des carbonates nécessite de l'eau pour se former, É. Debard et S. Khatib placent la « stalagmite » et le « plancher » au niveau 7 où il existe des preuves sédimentologiques de l'action de l'eau. Il n'y a pas de telles preuves dans les niveaux 6 - 5a.

G. Shen a effectué des datations de séries d'uranium sur deux échantillons du plancher et deux de la stalagmite, un de la base et un du sommet. En décrivant ces échantillons, Shen a déclaré :

Les échantillons ORG82-1 et ORG82-2 proviennent du plancher. La calcite d'une couleur jaune clair est assez pure et bien cristallisée. Des esquilles d'ossements et des morceaux de petites stalactites tombées du plafond sont visibles dans la calcite chimiquement précipitée, témoignant ainsi de la formation sur place de cette plancher. Les échantillons ORG82-3 et ORG82-4 représentent respectivement le sommet et la base de la stalagmite. Cette stalagmite ne semble pas très bien conservée ; en effet, quelques couches se détachent et certaines zones alvéolaires sont remplies d'argile, ce qui implique apparemment une dissolution partielle due à l'eau souterraine. Nous avons procédé à une sélection très soignée des échantillons à analyser, des petits morceaux purs et compacts sont tout de même disponibles (Shen 1985 : 135).

G. Shen a obtenu des âges de $374 +165/-94$ ka et $356 +266/-76$ ka pour la dalle, $364 +204/-69$ ka pour le sommet de la stalagmite et $288 +82/-45$ ka pour la base (tabl. 2). Il s'agit d'une large gamme, et dans l'ordre stratigraphique inverse. G. Shen précise aussi :

La calcite de ce site se caractérise par sa faible teneur en uranium et le faible rapport d'activité des isotopes de l'uranium. Les rapports $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ varient entre 15,7 et 18,5. Compte tenu du très grand âge de ces échantillons, la correction du ^{230}Th initial n'est pas nécessaire. Les quatre rapports $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ sont identiques dans la limite de l'erreur statistique de 1 sigma. Cela indique la bonne reproductibilité de nos mesures. Le fait que tous ces rapports soient proches de l'unité donne un aspect un peu différent de ce qui se produit pour la datation de la Caune de l'Arago ou de la Grotte de Petralona où ce rapport dépasse quelques fois un peu l'unité. La différence entre l'unité et la moyenne de ces quatre rapports, $0,953 \pm 0,016$, est statistiquement significative. Il est donc vraisemblable que l'âge issue de cette dernière valeur, 339 000 ans, représente mieux l'âge réel de ces formations stalagmitiques (Shen 1985 : 135).

Il convient de noter que les rapports d'activité $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ rapportés pour ces échantillons sont tous inférieurs à 20, ce qui est considéré comme indiquant une contamination par des matériaux détritiques (Michel et al. 2013, Martínez-Aguirre et al. 2019). G. Shen conclut qu'au vu du mauvais état de conservation des échantillons, en 1985 ces mesures se situaient dans la

limite supérieure de la technique U/Th, et qu'il était alors difficile de distinguer les âges des différents échantillons et d'exclure la possibilité que l'âge réel de ce niveau soit supérieur à 350 ka (Shen 1985 : 135-137). C. Falguères (Falguères 1986) a calculé une date ESR (Electron Spin Resonance) pour un échantillon provenant de la base du plancher, donnant un âge de 309 ± 34 ka. C. Falguères et al. (Falguères et al. 1988) ont repris les résultats de G. Shen (Shen 1985) et de C. Falguères (Falguères 1986).

H. Masaoudi (Masaoudi 1995) a effectué des datations U/Th sur les os, l'émail et la dentine, ainsi que des datations ESR sur ces matériaux et sur la stalagmite, le plancher et le quartz brûlé. Les datations U/Th des os, de l'émail et de la dentine sont incohérentes et en inversions chronologiques. Pour H. Masaoudi « Ces résultats montrent que le site d'Orgnac 3 a connu une altération géochimique très importante. L'ouverture de ce site à la migration de l'uranium est mise en évidence. Les niveaux inférieurs sont les plus touchés par cette altération. Il s'avère difficile d'appliquer la méthode U-Th pour les ossements, dentines et émail sur ce site » (Masaoudi 1995 : 69). Les dates ESR sur les os, l'émail et la dentine sont également très incohérentes et leur ordre chronologique est communément inversé, les chronologies rajeunissant en descendant dans la séquence (tabl. 2). H. Masaoudi propose ainsi : « Quel que soit le modèle d'incorporation utilisé, les âges obtenus par ESR sur les émail sont trop jeunes par rapport aux données géochronologiques et biostratigraphiques du site, sauf pour le niveau 1 qui donne des âges cohérents » (Masaoudi 1995 : 79). Pour les dates ESR sur la stalagmite, le plancher et le quartz brûlé, Masaoudi présente des ensembles de dates larges, mais ne fait aucune mention de la façon dont l'altération géochimique ou les différents problèmes qu'il décrit pourraient affecter ces dates. Il est important de noter que les dates ESR de H. Masaoudi pour le quartz brûlé représentent la seule méthode de datation ici développée moins vulnérable à l'altération géochimique, son 'horloge' étant marquée par des chauffés plutôt que sur le dépôt de carbonates. Ces mesures seraient alors plus cohérentes. Elles sont toutefois environ 100 ka plus anciennes que celles obtenues au niveau du plancher stalagmitique (tabl. 2) alors qu'elles proviennent des 3 niveaux localisés stratigraphiquement au-dessus de ce plancher (Masaoudi 1995 : 84).

V. Michel et al. (Michel et al. 2011) ont effectué de nouvelles analyses U/Th par MC ICPMS sur 4 échantillons de carbonate provenant de la stalagmite et du plancher. Ces auteurs placent la stalagmite et la plancher stalagmitique généralement dans les niveaux 7, 6 et 5b, mais sans expliquer les raisons de cette nouvelle

interprétation stratigraphique. Ils ne fournissent pas les données brutes individuelles, ils indiquent seulement que leurs estimations d'âge vont de 261 ± 6 à 305 ± 14 ka (tabl. 2).

V. Michel et al. (Michel et al. 2013) ont effectué 14 analyses ICP-MS U/Th supplémentaires sur des échantillons de carbonate provenant de toute la stalagmite et du plancher et placent désormais la stalagmite dans les niveaux 6 et 7, et le plancher dans les niveaux 6 et 5b. Les trois échantillons supérieurs des huit échantillons du plancher ont été exclus du calcul de l'âge en raison des faibles rapports d'activité $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ du fait de la « contamination par des matériaux détritiques » (Michel et al. 2013 : 3). L'un des six échantillons de la stalagmite a été exclu des résultats car il était beaucoup trop jeune par rapport aux échantillons adjacents, les auteurs déclarant que cet échantillon était « probablement biaisé par la diagenèse post-dépositionnelle » (Michel et al. 2013). Les deux tiers des échantillons qui ont été retenus ont produit des âges également incohérents et en inversion chronologique (tabl. 2), avec des dates allant de 265 ± 4 ka à 312 ± 14 ka, mais sans séquence logique stratigraphique. Leur discussion sur les différences entre cette plage de dates et la date de $302,9 \pm 2,9$ ka $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ provenant du sommet du niveau 2, placée beaucoup plus haut dans la séquence, n'aborde pas la possibilité d'une remise en question de la validité des dates U/Th et proposent plutôt la possibilité d'« une légère contamination des grains de sanidine ou par un excès mineur de ^{40}Ar », soit « les minéraux volcaniques ont été transportés sur le site des dizaines de milliers d'années [sic] après l'éruption du Sancy » (Michel et al. 2013 : 5). Mais cet argument pourrait être perçu comme paradoxal puisqu'ils démontrent parallèlement la présence de grains de sanidine très bien conservés sous grossissement MEB dans leur Figure 7 et qu'ils décrivent ces grains ainsi dans leur légende : « Les minéraux sont à arêtes vives et non altérés » (Michel et al. 2013 : 8).

Plus récemment, J.-J. Bahain et al. (Bahain et al. 2022) ont publié de nouveaux âges par thermo-luminescence (TL) sur des silex brûlés provenant des niveaux 5 et 6 (bien qu'il ne soit pas expliqué pourquoi les niveaux 5a et 5b ont été combinés), et des recalculs des dates ESR/U-series de H. Masaoudi (Masaoudi 1995) sur des dents de mammifères. Ces recalculs de la série ESR/U ont été effectués sur la base de données dosimétriques in situ recueillies par des dosimètres installés dans les niveaux 4b, 5a, 5b et 6 (bien qu'aucune information ne soit donnée sur la date ou les conditions dans lesquelles ces travaux dosimétriques ont été effectués). Six dates de TL du niveau 5 vont de 210 ± 20 ka à 332 ± 35 ka, avec un âge

moyen de 262 ± 36 ka ; cinq dates du niveau 6 vont de 244 ± 21 ka à 337 ± 29 ka, avec un âge moyen de 286 ± 30 ka (tabl. 2). Les sept dates recalculées de la série ESR/U des niveaux 1 à 7 vont de 236 ± 2 ka à 311 ± 30 ka, mais ne sont pas toujours en ordre chronologique dans la séquence (tabl. 2). Sur la base de ces dates, ils proposent que les niveaux 8 et inférieurs aient été déposés pendant l'OIS 10 (environ 375 – 340 ka) ; que les niveaux 7 et 6 aient été déposés pendant l'OIS 9 et la transition OIS 9 - 8 (jusqu'à l'interstadial d'Amargiers ; environ 340 – 270 ka) ; que les niveaux 5 à 1 aient été déposés pendant l'OIS 8 (après l'interstadial d'Amargiers ; environ 270 – 240 ka). Lorsqu'ils essaient d'expliquer les différences entre cette fourchette de dates et la date de $302,9 \pm 2,9$ ka $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ du sommet du niveau 2, ils affirment que, bien qu'elle « soit analytiquement précise, elle correspond probablement à des minéraux remaniés dans les sédiments associés à un évènement volcanique plus ancien déconnecté des enregistrements archéologiques, et elle doit être considérée avec prudence car les minéraux datés sont probablement remaniés dans la séquence d'Orgnac 3 » (Bahain et al. 2022 : 9).

BIOCHRONOLOGIE

Le premier à tenter une datation biochronologique du site est C. Guérin (Guérin 1980 : 615-618). Il a placé les couches géologiques d'Orgnac 3 dans ses 'zones' chronologiques de mammifères comme suit :

- couches o à k dans sa zone 22, équivalente à Mindel, Elster, Lovestoft (généralement corrélée à OIS 12, 478-424 ka).
- La couche i dans sa zone 23, équivalente au Mindel-Riss, au Holsteinien, au Needien, au Hoxnien (généralement corrélé au début de l'OIS 11, 424 ~ 390 ka).
- couche g dans sa zone 24, équivalent avec Riss, Saale, Gipping (généralement corrélé au début de l'OIS 10, 364 ~ 340 ka).

Selon H. Aouraghe (Aouraghe 1992), les aspects biochronologiques de la faune du site, comme la présence de *Canis lupus lunellensis*, *Apodemus sylvaticus*, *Microtus brecciensis*, *Eliomys quercinus*, et une forme archaïque de *Crocota spelaea* indiquent que les niveaux archéologiques les plus bas dérivent de la fin du Pléistocène moyen précoce, tandis que le niveau 2 peut être attribué légèrement avant le Pléistocène moyen tardif sur la base de la présence de *Rupicapra rupicapra*, *Hemitragus bonali*, *Ursus deningeri*, et *Equus caballus mosbachensis*. Ces résultats sont généralement conformes aux dates obtenues par

radiométrie, mais couvrent une plus grande plage de temps. H. Aouraghe a conclu que l'histoire du dépôt suggérée par la faune « nécessiterait une période plus longue que celle proposée [par les dates radiométriques] » (Aouraghe 1992 : 462). A. Testu a décrit des aspects des Felidae qui suggèrent également un décalage entre les dates radiométriques et la biochronologie : « Le chat [*Felis silvestris*] d'Orgnac 3, bien que plus récent [par les dates radiométriques], conserve certains caractères archaïques, en particulier le raccourcissement du protoconide de la P4, qui rappellent des formes anciennes » (Testu 2006 : 283).

Sur la base de la microfaune, M. Jeannet (Jeannet 1974, 1981 : 65), conclut :

Tout incite donc à penser qu'Orgnac 3 se situe à la charnière Mindel-Riss. Je serais tenté [Jeannet] de corréler ce site avec les quelques gisements sur lesquels j'ai pu travailler de la manière suivante :

Orgnac 3 (g, h) - phase IV	= La Fage (en partie)	= Riss I
Orgnac 3 (i, j) - phase III	= Lunel-Viel 1, Coudoulous 1 niveau 8	= Mindel-Riss
Orgnac 3 (k, l, m) - phase II	= Saint-Estève-Janson H	= Mindel final
Orgnac 3 (n, o, p) - phase I	= Montoussé 3	= Mindel supérieur

Grâce à la présence de certaines espèces particulières, les relations chronostratigraphiques peuvent être établies entre Orgnac 3 et les autres sites où elles peuvent être collectées.

Cette conclusion a été reprise par J. Chaline : « Une stratigraphie sûre de ces périodes sera possible lorsque nous aurons à notre disposition de très longues séquences qui se chevauchent dans le temps, comme à Saint-Estève-Janson, Orgnac 3, et Aldène. » (Chaline 1975 : 114). Il a montré sa proposition de corrélation entre ces séquences, et d'autres, dans sa figure 36 (fig. S8), qui correspond au placement chronologique des couches d'Orgnac 3 par M. Jeannet.

Sur la base de cette même microfaune, N. El Hazzazi (El Hazzazi 1998a : 129) a conclu :

Cette étude nous permet d'ébaucher une chronostratigraphie régionale basée sur l'évolution du genre *Arvicola* dans cette partie de la France. Ainsi, sur le site d'Orgnac 3, on est en présence d'une population

homogène archaïque aussi bien par sa morphologie que par le degré de différenciation de la bande d'émail, cette population côtoyant *Pliomys episcopolis* et *Pliomys chalinei* (Jeannet 1974), et *Erinaceus davidi* (El Hazzazi 1991) appartient à l'espèce *Arvicola cantiana*. Les indices SDQp obtenus pour ce site permettent de donner un âge Holsteinien [OIS 11] aux couches 6 et 7 et un âge Saalien [OIS 10] aux couches 4 et 5.

PROBLÈMES CHRONOLOGIQUES AVEC LA SÉQUENCE D'ORGNAC 3

Comme décrit ci-dessus et détaillé dans le tableau 2, il existe un décalage entre les différentes mesures radiométriques pour la séquence d'Orgnac 3 ainsi qu'entre ces mesures, déjà incohérentes entre-elles, et les indications biochronologiques de la séquence. S. Khatib (Khatib 1989 : 181), a aussi décrit les indicateurs sédimentologiques de la chronologie du site et en quoi ils ne sont pas en accord avec les mesures radiométriques :

Les deux datations absolues réalisées dans le gisement nous permettent de situer le remplissage dans la stratigraphie isotopique du Quaternaire.

- l'ensemble II date à -339 000 ans en moyenne correspond à la limite inférieure de stade isotopique 10, mais les données sédimentologiques et géochimiques indiquent qu'il s'agit d'un réchauffement climatique, ce qui nous permet de situer l'ensemble II dans le stade isotopique 11. Cela suppose que la datation est trop récente pour être affectée à ce stade.

- l'ensemble IV date à -298 000 ± 55 000 ans, correspond au stade isotopique 9 ou l'équivalent d'un réchauffement climatique. Les données sédimentologiques vont dans le sens d'un refroidissement ; il est très probable qu'ici aussi, la datation soit légèrement sous-estimée. Cet ensemble pourrait donc toujours être dans le stade isotopique 10. L'altération superficielle de cet ensemble (niveau IVb) correspond au stade chaud 9.

- selon l'échelle isotopique du Quaternaire, nous pouvons situer l'ensemble I, dont les analyses sédimentologiques indiquent un climat très froid et sec, dans le stade froid 12.

Il en va de même pour l'ensemble III qui pourrait être situé dans le stade froid 10, les données sédimentologiques et géochimiques correspondent à un climat froid et humide.

Comme on le voit dans le tableau 2, dans la plupart des travaux de datation, les dates les plus récentes proviennent de la partie la plus profonde de la séquence, nous confrontant à des problèmes de radiométrie qui suggèrent fortement que ces mesures ne peuvent pas correspondre à un système fermé, et suggère l'existence de problèmes dans les mesures de l'Uranium et du Thorium. La faible précision de ces mesures et leurs incohérences internes plaident pour une période de dépôt des sédiments d'Orgnac 3 plus longue que celle généralement retenue et qui limite principalement cette séquence dans les OIS 9 et 8 (par exemple Bahain et al. 2022, Michel et al. 2011, 2013, Moncel et al. 2005, 2011, 2012, et leurs références). Sur la base des données disponibles, deux reconstructions chronologiques distinctes peuvent être réalisées pour les dépôts d'Orgnac 3 (fig. 7) :

- Le modèle d'âge 1, basé exclusivement sur des dates radiométriques publiées, suppose que les couches archéologiques proviennent de périodes contemporaines des stades isotopiques (OIS) 9 (334 – 301 ka) et 8 (301 – 242 ka ; e.g. Bahain et al. 2022, Michel et al. 2011, 2013, Moncel et al. 2005, 2011, 2012).
- Le modèle d'âge 2, basé sur un examen approfondi de toutes les données géologiques et paléontologiques disponibles, place la moitié inférieure des couches archéologiques de l'OIS 11 (427 – 364 ka), la moitié supérieure de l'OIS 10 (364 – 334 ka), le niveau de surface dans l'OIS 8. L'OIS 9 serait principalement représenté par une discordance d'érosion entre les niveaux 2 et 1 (Aouraghe 1992, Chaline 1975, Debard 1988, El Hazzazi 1998a, Guérin 1980, Jeannet 1981, Khatib 1989).
- Pour que le modèle d'âge 1 soit accepté, il faut ignorer presque toutes les conclusions des analyses de la géologie du site (par exemple Debard 1988, Khatib 1989, Lafaar 1995) et des assemblages faunistiques (en particulier la microfaune ; El Hazzazi 1998a, Paunesco 2007), et permettre que les minéraux volcaniques de la couche d1 aient été soufflés et lavés à la surface pendant plus de 50 mille ans avant de se retrouver là, tout en conservant leurs « arêtes vives et non érodés ». Entre-temps, les raisons de rejeter ce modèle d'âge ont déjà été données par de nombreux chercheurs : après l'effondrement de la cavité karstique et l'ouverture des couches à la surface, la pluie et le mouvement des eaux souterraines à travers les couches ont provoqué la remobilisation de l'uranium et/ou du thorium

dans la séquence (un système ouvert), entraînant une sous-estimation des dates de la série U ou de l'ESR (par exemple Claes et al. 2020).

Si le modèle d'âge 2 est accepté, les niveaux archéologiques 8 - 2 (correspondant aux couches géologiques k - d) ne dateraient pas de 350 – 250 ka (centré autour de 300 ka), mais correspondraient plutôt aux OIS 11 et 10, 427 – 334 ka. Les niveaux non archéologiques situés en dessous des couches géologiques l - t dateraient donc de l'OIS 12, 474 – 427 ka. Le niveau 1, de la couche géologique c, est séparé du niveau 2 par un événement d'érosion et le clinopyroxène et sa date associée de ~300 ka sont situés au-dessus de la couche altérée et « creusée » d1 ; la date de ~300 ka est donc un âge maximum pour ce niveau 1, mais ces sédiments de recouvrement, ces fossiles et ces artefacts pourraient en fait être beaucoup plus jeunes. Cette chronologie révisée est sensiblement plus ancienne et d'une durée plus longue que les dates radiométriques suggérées et semble plus conforme à la profondeur de dépôt et aux changements macro- et micro-fauniques enregistrés sur le site. La figure 8 montre l'abondance de deux reptiles dans la séquence, la cistude (*Emys orbicularis*) et une tortue terrestre *Testudo* sp. (Lewis 2011). Les deux sont des marqueurs d'environnements chauds et humides, caractéristiques des phases interglaciaires dans le registre européen du Pléistocène Moyen (Morales Pérez & Sanchis Serra 2009, Sommer et al. 2007). Leur abondance correspond à ce qui serait attendu s'il y avait une transition interglaciaire/glaciaire et une seconde phase interglaciaire vers le sommet de la séquence.

Les niveaux archéologiques 8 - 2 d'Orgnac 3 sont communément proposés comme couvrant la période allant de 350 à 250 ka (les mesures radiométriques étant généralement centrées autour de 300 ka), les données paléontologiques et biostratigraphiques disponibles indiquent que ces niveaux seraient plutôt à replacer entre l'OIS 11 et 10, soit entre 424 et 337 ka. Les niveaux essentiellement paléontologiques sous-jacents, couches géologiques l - t, correspondraient alors au OIS 12, entre 474 et 427 ka. À l'opposé, dans la partie supérieure de la séquence, le niveau 1, à partir de la couche géologique c, est séparé du niveau 2 par un événement d'érosion, et le clinopyroxène qui y a été retrouvé et sa chronologie associée de ~300 ka, proviennent d'une strate sus-jacente à la couche d1 altérée et « surcreusée ». La date de ~300 ka ne correspondrait pas à l'âge de cette unité, mais ici donc à une chronologie maximale pour ce niveau 1. Ces sédiments, ainsi que les fossiles et artefacts du sommet de la séquence ne sont donc pas datés et pourraient de fait être notablement plus jeunes que ce qui est communément proposé pour ces ensembles.

Cette chronologie révisée de la séquence d'Orgnac 3 est donc sensiblement plus ancienne et couvre une durée plus vaste que ce qui est suggéré par les mesures radiométriques généralement employées pour comprendre cette séquence. Eu égard aux dynamiques sédimentaires en présence, cette chronologie longue correspondrait mieux à la puissance des dépôts, aux modifications sédimentaires successives, et à l'ensemble des données paléontologiques.

Les reconstructions précédentes des niveaux inférieurs attribués de l'OIS 9 à l'OIS 8 (Bahain et al. 2022, Michel et al. 2011, 2013, Moncel et al. 2005, 2011, 2012 et leurs références) peuvent être considérées comme peu compatibles avec les enregistrements archéo-sédimentaires et biostratigraphiques en présence. Selon ce modèle, les 7 m de dépôt d'Orgnac 3 se seraient accumulés sur une période de 100 ka, ce qui ne trouve pas de correspondance avec la plupart des ensembles méditerranéens du Pléistocène moyen, où les accumulations sédimentaires assez comparables couvrent systématiquement plusieurs centaines de milliers d'années (e.g. Gran Dolina, Arago, Vallparadís, Visogliano, Petralona, etc. : Carbonell Roura & Rodriguez Alvarez 1994, Cook et al. 1982, Falguères et al. 2008, 2015, Grün 1996, Martínez et al. 2013).

Nous considérons qu'en dehors de mesures radiométriques qui se contredisent presque systématiquement dans cette séquence, la majorité des données disponibles soutiendrait plus parcimonieusement le modèle présenté ici : les couches paléontologiques

situées au-dessous du niveau 8 dépendent de l'OIS 12, la moitié inférieure des couches archéologiques de l'OIS 11, la moitié supérieure étant à attribuer à l'OIS 10 et le niveau 1 à l'OIS 8. L'OIS 9 serait de fait attestée par une discordance d'érosion entre les niveaux 2 et 1 et une augmentation de signaux chauds (avec le développement du cerf, des tortues, des carnivores, etc.) dans les niveaux 2 et 3 en raison de mélanges stratigraphiques. Les signaux sédimentaires des phases froides trouvent un écho direct dans les changements en termes d'abondance des espèces tout au long de la séquence. Cela induit que les dépôts de cette vaste séquence ne se seraient pas déposés en une seule phase isotopique. La date $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $302,9 \pm 2,9$ ka (Michel et al. 2013), se positionnant précisément à la transition entre l'OIS 9 et 8 entre les niveaux 1 et 2, il paraît ici peu parcimonieux de considérer que l'ensemble de la séquence, des niveaux 3 à 8 soient intégralement déposés pendant la période chaude de l'OIS 9. La plupart des données issues de la sédimentologie et des datations radiométriques décrivent comment l'altération géochimique post-dépositionnelle a rendu douteuses les analyses U-Th et de l'ESR sur la bioapatite. Parallèlement les datations par traces de fission et ESR sur quartz brûlé et les analyses sur les sédiments volcaniques, lesquels ne sont pas sensibles aux mêmes types de contamination, correspondent à ce qui serait attendu dans le modèle que nous proposons ici. Si cette hypothèse était confirmée la séquence d'Orgnac 3 représenterait l'une des séquences pléistocènes comptant parmi les plus anciennes, des plus longues et les mieux préservées actuellement reconnues en Europe.



Acknowledgements: We would like to thank Dr. Richard Klein for his support and guidance during our work on Orgnac 3. Thanks also go to Dr. Henry de Lumley and Anne-Marie Moigne for facilitating access to the Orgnac 3 material and associated publications at the CERPT in Tautavel, France, and their hospitality during research visits. Dr. Évelyne Crégut-Bonnoure provided helpful comments on a draft of the manuscript. This research was funded by a NSF Doctoral Dissertation Improvement Grant (#0925571) to JEL, the Leakey Foundation, Stanford University's France-Stanford Center for Interdisciplinary Studies, Department of Anthropology, and Stanford Archaeology Center. This article is dedicated to our dear colleague and friend Jean Combier who passed away in 2020, and whose life was dedicated to understanding the history of human origins in the Rhône Valley.

1. INTRODUCTION

An important aim of paleoanthropological research over the last two decades is to further our understanding of the biological and behavioral evolution of Middle Pleistocene hominin populations in Eurasia that included the ancestors of Neanderthals, Denisovans, and potentially other archaic *Homo* populations (e.g. Mellars *et al.* 2007, Reich *et al.* 2010, Abi-Rached *et al.* 2013, Fu *et al.* 2014, Higham *et al.* 2014, Meyer *et al.* 2014, 2016, Prüfer *et al.* 2014.). A critical component of this endeavor is to clarify “the muddle in the middle” (as it was termed by Isaac in 1975), that is, the poorly resolved record of the Middle Pleistocene. This time period saw the transition from Lower to Middle Paleolithic stone tool technologies, the evolutionary differentiation of *Homo heidelbergensis* into Neanderthals and Denisovans in Eurasia and *Homo*

sapiens in Africa (Arsuaga *et al.* 1997, 2014, Rightmire 1998, 2008, Hublin 2007, 2009, Weaver *et al.* 2008), as well as the purported development of consistent control of fire (Roebroeks & Villa 2011, MacDonald *et al.* 2021), possibly of dwelling structures (but see Villa 1977, Kolen 1999), and the development of more advanced hunting techniques (Klein 1987). Given the evolutionary import of these events, every potential source of data bearing on these issues is precious.

Orgnac 3 is one of the rare long European sequences of the Middle Pleistocene site in Mediterranean France that, although very suited to address the aforementioned issues in hominid morphological and behavioral evolution, and having a fair amount of ink spilled about it (see bibliography), has not been treated in a synthetic manner nor included in the majority of discussions on these important evolutionary questions. Exceptions are the site's inclusion in reviews on the development of consistent control of fire (Roebroeks & Villa 2011), the appearance of the Levallois flaking method and the origins the Middle Paleolithic in Southern Europe (Moncel *et al.* 2012 and references therein), new radiometric dating analyses on the site itself (Michel *et al.* 2011, 2013), and how to detect heat-induced changes of fossil bone mineral using Fourier transform infrared spectrometry (Lebon *et al.* 2010). However, misunderstanding of, or inattention to, details in previous research on the site's stratigraphy, chronology, and archaeology could call into question the validity of these interpretations.

This paper aims to introduce the site to new readers, summarize the previous work that has been performed on the site and its archaeological material, offer some different views based on that work, and propose directions for future research, with hope that a more accurate picture of Orgnac 3 will help clarify the “muddle” in our understanding of hominin evolution during the Middle Pleistocene.

1.1 The Middle Pleistocene Record in Europe and the Importance of Orgnac 3

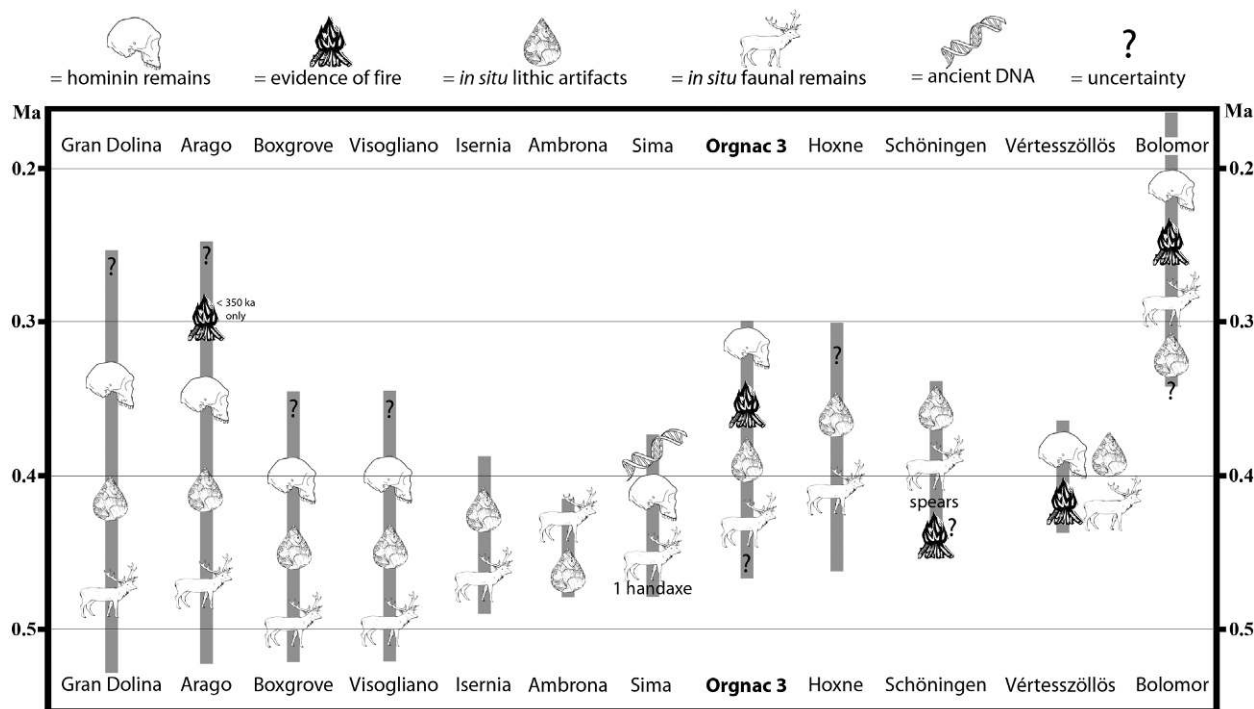
In Europe, there are a handful of sites that preserve well-dated deposits of Middle Pleistocene faunal remains, stone tools, and in some cases, hominin remains themselves (fig. 1). In Spain, sites in the Sierra de Atapuerca, such as the Sima de los Huesos (Arsuaga *et al.* 1993) and the Gran Dolina (Carbonell Roura & Rodriguez Alvarez 1994), contain deposits that span ~800 ka to ~300 ka and contain the “best evidence to date for the existence

of human habitation in the Iberian Peninsula from the early Middle Pleistocene” (Carbonell Roura & Rodriguez Alvarez 199: 291). Other sites, such as La Caune de l'Arago (France), Torralba and Ambrona and Bolomor (Spain), Isernia la Pinetta and Visogliano (Italy), Boxgrove and Hoxne (England), Schöningen (Germany), Vértesszöllös (Hungary), are some of the largest, relatively well dated, best known, and most studied sites that help fill in the Middle Pleistocene sequence from Western Europe. Figure 2 summarizes the presence or absence of four major types of archaeological and fossil evidence from twelve of the best-studied Middle Pleistocene sites in Europe. All of the sites shown contain stone tools and faunal remains, and some also contain hominin fossils or convincing evidence for the use of fire, but only Arago, Vértesszöllös, Bolomor, and Orgnac 3 contain all of these in their well-stratified deposits. Precise dating of these deposits remains a major issue as they usually don't contain volcanic material for $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ or $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, leaving mainly U-series, luminescence, electron spin resonance (ESR), and biochronological dating methods.



1. The approximate locations of major European middle Middle Pleistocene sites with early human fossils or artifacts.

Given that even the best-studied European Middle Pleistocene sites still leave a lot to learn about hominin morphological and behavioral changes over a half-million year time-period, the Orgnac 3 sequence and its material have important potential for answering major questions, such as: a) the timing of the origins of the use of fire and its behavioral and morphological consequences on *H. heidelbergensis* in Europe; b) the timing of and reasons for the transition from the Lower Paleolithic to the Middle Paleolithic and how the Levallois concept may be considered as involved in that process?; c) were there changes in subsistence behavior over that transition? Were they hunting, and what was the relationship between *H. heidelbergensis* and other carnivores, etc.?



2. Major European Middle Pleistocene sites showing proposed dates and presence of hominin remains, fire, lithics, and faunal remains (using the chronology for Orgnac 3 proposed herein). See Supplement for references.

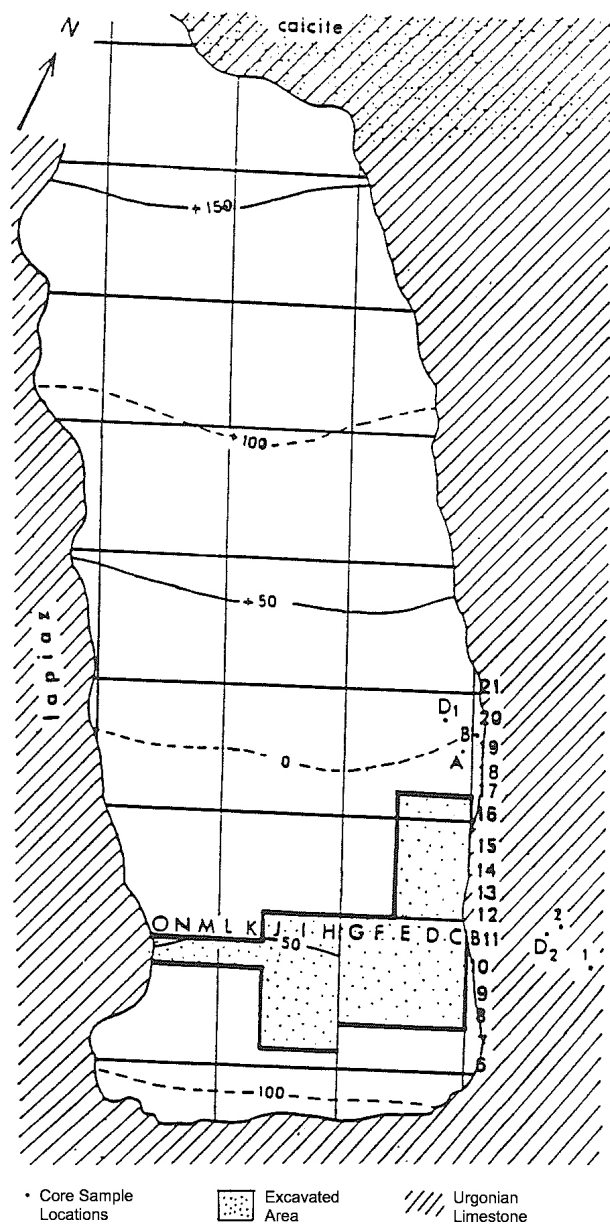
2. HISTORY OF EXCAVATION, GEOGRAPHICAL AND GEOLOGICAL SETTING

The site of Orgnac 3 (Figure 3; 44°17'39.75"N, 4°25'12.65"E) was discovered in 1956 by A. and M. Hérítier (two schoolteachers who were visiting the area) because local villagers were uncovering lithic and faunal remains among the rocks they were using to make a 'cabane de charbonnier', or charcoal-maker's hut (Combier 1967), in the middle of the vast bushy 'garrigue' vegetation characteristic of the Mediterranean region (Combier 1989). Test pits into the site were performed in 1959 by J. Combier, J.-P. Thévenot, and J. Thiant, making it the first stratified Acheulean site identified in the Rhône Valley of France (Combier 1963). Another larger test excavation was performed in 1962, and the site was systematically excavated between 1964 and 1972, removing several hundred cubic meters of sediment and recording the vertical and horizontal placement of all recovered lithic and faunal material (Combier 1967). A second, smaller and targeted excavation was undertaken in 1988, with the participation of J. Da Silva, B. Gély and J.-L. Porte, in Level 1 of the south-western portion of the site (squares H, I & J 7–9), in order to completely recover what has been interpreted as an *in-situ* single knapping event (Combier 1996; fig. S1). [Please note that all of the

referenced work on Orgnac 3, whether published journal articles, book chapters, or theses, can be made available upon request to the authors.]

Orgnac 3 is located halfway between the Ardèche and the Cèze rivers in the Ardèche department of the Rhône-Alpes region of southeastern France (fig. 1). It is situated at 325 m elevation on the Bourg-Saint-Andéol plateau, which is a large Lower Cretaceous (Urgonian) karstic limestone block. This limestone is compact and white in color, and the block is tilted slightly downward towards the Rhône River to the east. This formation is prone to subterranean erosion, forming well-known and extensive karstic systems such as the Aven d'Orgnac, of which Orgnac 3 (also known as Mattecarlinque) is a part (Jaillet *et al.* 2007, Delannoy *et al.* 2009). Orgnac 1, also known as Baume Ronze, is a very large collapsed aven with Upper Paleolithic through end-Neolithic archeological deposits (Combier 1989); Orgnac 2, also known as Baume Flandin, is a smaller cave containing Middle Paleolithic archeological deposits attributed to the Eemian, around the end of OIS 5e (Moncel *et al.* 2008).

The site of Orgnac 3, from the surface is 40 m long and about 15 m wide (fig. 3). To delimit the extent of the site, many core soundings were taken in 1968 and again



3. Aerial plan of the site showing areas of excavation and core soundings (adapted from Aouraghe 1992: 20).

in 1984. In excavation squares C11, D11, & E11, the floor of the substratum (or at least very large boulders where the excavations stopped) is 7 m deep, whereas in square O11 (to the west), it is 2.5 m deep. The northern part of the excavation reached a depth of 6.4 m, which diminishes towards the northeast to 3 m in depth. In the eastern part of the excavation, the depth varies from 4 m to 7 m. In the southern part, the depth of the deposits has not been established (Aouraghe 1992).

2.1 Site Formation

Taking the core soundings, excavation results, and other geological evidence into account, it was concluded that Orgnac 3 is more like a collapsed cave than a true sinkhole (Combier 1967). The western part of the site is hypothesized to be the entrance to the cave (Aouraghe 1992).

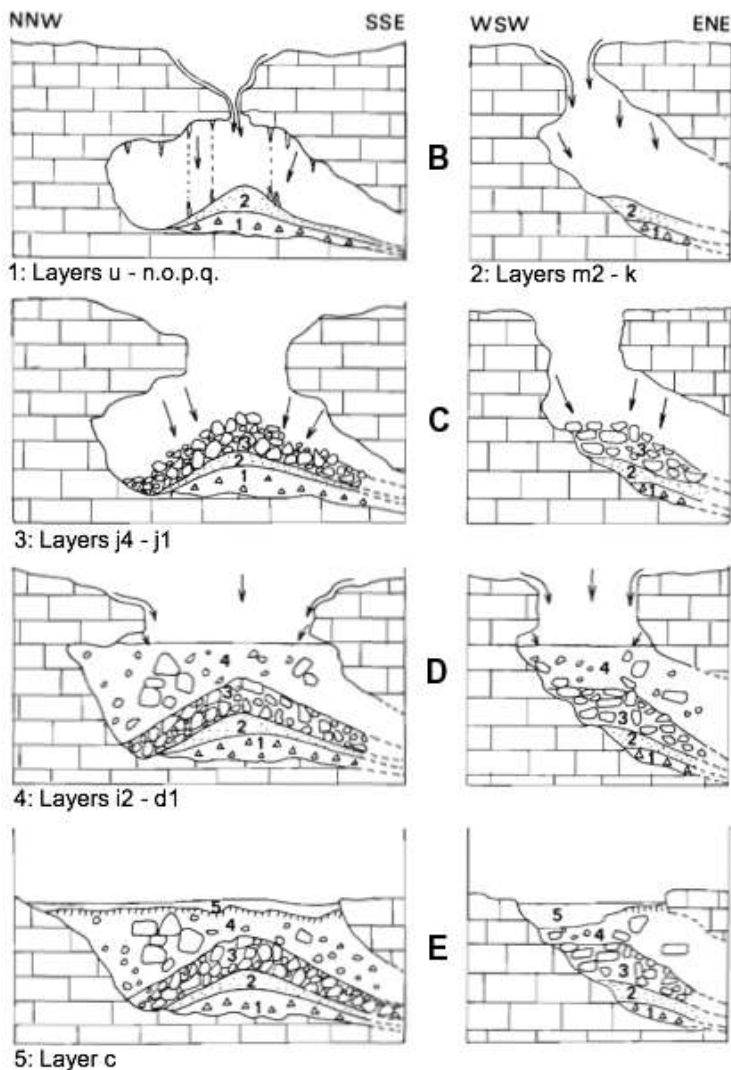
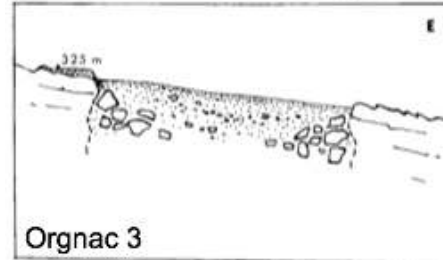
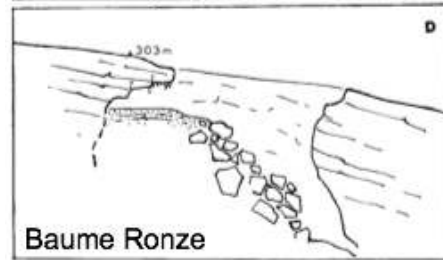
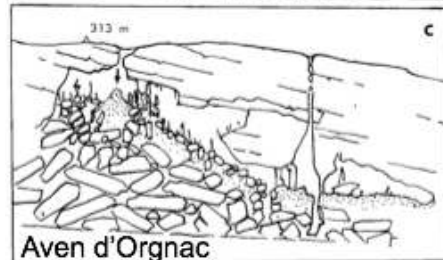
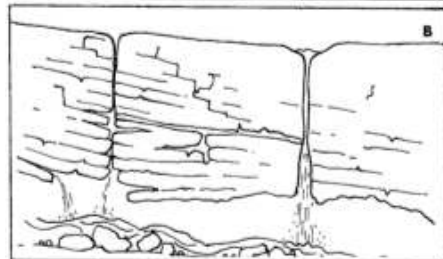
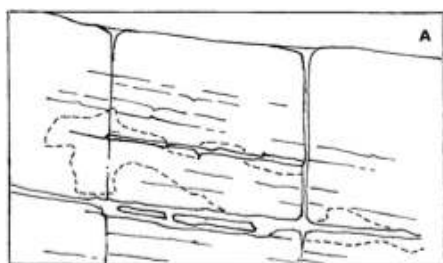
J. Combier (Combier 1967) and E. Debard (Debard 1988) both proposed several stages in the development of the site (fig. 4), progressing from a limestone block to completely filled in sinkhole. In Stage A, the infiltration of groundwater in the mass of limestone in the direction of the dip of the plateau created an underground opening. In Stage B, the cavity grows larger and larger by the processes of erosion and structural shifts. In Stage C, the cavity is the form of a large cave, with rock debris falling from the ceiling and the formation of stalagmites and flowstone slabs. In stage D, the roof partially collapses, leaving a rock shelter. During the final stage, E, the last of the overhangs crumble, and the rest of the basin fills with sediment.

2.2 Stratigraphy

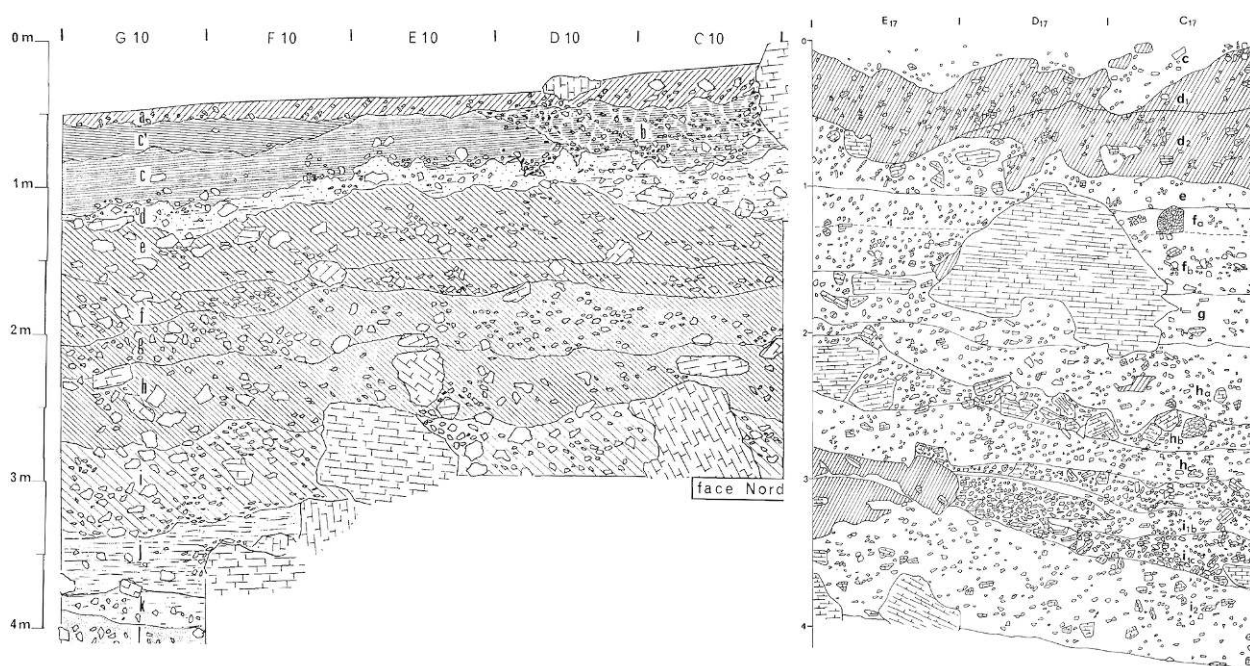
J. Combier originally divided the Orgnac 3 deposit into 21 sedimentological layers and 10 archaeological levels (Combier 1967, 1979; fig. 5, table 1). E. Debard (Debard 1988), after thorough sedimentological and granulometric analyses, refined this stratigraphy by dividing and subdividing some of these initial layers (fig. 5). S. Khatib (Khatib 1989), based on separate sedimentological and geochemical analyses, proposed grouping the layers into four different sedimentological packages: Package I lies below Level 8; Package II comprises archaeological Levels 8 & 7; Package III comprises archaeological Levels 6, 5a and b, 4a and b, and 3; Package 4 comprises archaeological Levels 2 & 1. S. Laafar (Laafar 1995) proposed yet another grouping scheme based on microfacies analyses (table 1).

Level 8 is the lower-most archaeological level, situated between 4.25 - 4.0 m depth at the top of S. Khatib's 'Ensemble I' and E. Debard's 'layer k', designated based on the presence of 17 lithic artifacts. It was only excavated over an area of 21 m² (according to current plans), in squares C-G 8-11. The sediments below this archaeological level were excavated a further ~2.5 m in zones C-G 10-11, but few lithic artifacts were found (although fossil fauna, predominantly carnivores, were present).

Orgnac 3 Site Formation



4. Proposed phases of site formation and development for Orgnac 3: left from Combier 1967: 35; right from Debard 1988: 91.



5. Stratigraphic sections from Orgnac 3. Left, from Combier 1967: 37), and Right, from Debard 1988: 57). See figure 3 for locations of profiles.

Before discussing Level 8 itself, it is important to understand the history of the opening of the Orgnac 3 karstic cavity and the deposition of the deposits within. E. Debard describes these initial steps:

esting on the substrate, the first deposits were laid down under the ceiling of a cavity that still wasn't too open to the exterior. The general sedimentation is of a coarse type; it is interspersed with rock-fall material, staying however reduced. The coarse material comes essentially from the walls; the fine material comes essentially from the outside. The deposits follow the general slope of the substrate, which dips towards the southeast.

The presence of the ceiling is attested to by the concretion of sediment at several places in the site; an opening to the exterior is evidenced by gelifRACTED stones and pieces detached from the walls. This opening, however, was not large enough for predatory birds to roost and reject their pellets. Only some carnivores were able to slip and became trapped inside the aven.

This first phase of sedimentation ended with the loss of a part of the uppermost deposits which no doubt by a down-drawing phenomenon, was washed to the lowest zone towards the east-south-east (Debard 1988: 70).

At the time of deposition of this layer, the site was still more of a cave with a vertical/slanting opening than a sinkhole; after the initial carbonate dissolution and opening of the cavity (which most likely took place during a warm wet period,) a cool dry period occurred which brought in aeolian sediment (that forms the ~2.5 m of non-archaeological layers below Level 8 (Debard 1988: 70, Khatib 1989: 174). The slope of the bottom of the cavity and these layers suggest that the site was not likely to have been preferred by hominins as an occupation site, and the faunal remains in these layers might well represent animals that fell into a shaft-like opening to the cavity, or came in on their own volition to hibernate, and died there (Khatib 1989: 174). E. Debard noting the rolled appearance of the lithic artifacts from Level 8 and the sedimentological facies of this layer, suggests that “essentially, the material was brought in from outside by running water, which flowed from West to East. This resulted in a beveled deposit [laterally thinning]. The running water caused the reworking of a previous Acheulean habitat, the industry which, being heavily rolled, forms archaeological level 8” (Debard 1988: 90).

Archaeological Level 7 is situated between 4.0 - 3.5 m depth in the upper portion of S. Khatib's 'Ensemble II' and E. Debard's 'layer j'. It is separated from Level 8 by nearly a half meter of archaeologically sterile material. E. Debard describes the geological context:

This is the principle phase of the opening of the cavity in the southern part of the site. Coarse sedimentation is predominant. The distribution of blocks and stones and the evolution of their size allow the following of the collapse of the ceiling, from west to east, from south to north, going along through the deposits. Thus, just until the last collapse, at the origin of layer j1, a ceiling existed above the infill in the zone of squares D and C. This is attested to by the concretizing of sediment, no doubt located directly below ancient gutters, and the stalagmite in place, formed on top of layer j3 in square C8. The progressive opening of the cavity allowed the installation of predators and humans (Level 7) (Debard 1988: 90).

Allochthonous material was also brought in by running water and colluvial action, such as silts and coarse sands from the plateau, and corroded stones from the karstic system itself (Khatib 1989: 166). S. Khatib and E. Debard both signal the importance of carbonate precipitation during this period, with the deposition of the stalagmite and the flowstone. Specifically, S. Khatib stated “The two stalagmitic slabs of Orgnac 3 are located in the same stratigraphic level. They were formed at the same time, in an environment rich in calcium carbonates and thanks to the presence of microorganisms, under a warm climate” (Khatib 1989: 147).

Level 6 is located between 3.5 – 3 m depth, at the base of S. Khatib’s ‘Ensemble III’ and in E. Debard’s ‘layer i2’. According to E. Debard, starting with layer i2 and continuing to d1 (archaeological Level 2):

This phase is characterized by instability of the walls, which is at the origin of a constant coarse sedimentation. The northern parts of the ceiling continue and eventually finish collapsing. The cavity was largely open; a part of the coarse material was probably coming from the exterior at the same time as the fine material. The latter have a marked aeolian origin. Permanent percolation of water, tied to the proximity of the walls, deposited carbonates beneath the stones.

Humans were present in several episodes. They installed themselves in a sort of depression, largely open and which progressively continued to crumble during the sedimentation. The walls, no doubt higher than the current level of the limestone, gave them shelter against predators and the elements (Debard 1988: 90).

Level 5b is located between 3- 2.5 m depth, at the middle of S. Khatib’s ‘Ensemble III’ (sub-Ensemble IIIa) and in E. Debard’s ‘layer hb’. It is separated from Level 6 below by archaeologically sterile layers i1 and hc (table 1;

Debard 1988) but directly contacts Level 5a above. The geological context is broadly the same as described by E. Debard for Level 6. S. Khatib describes this layer as containing an abundance of large stones and blocks, with large amounts of pyroxene and quartz. The autochthonous material comes mainly in the form of stones and large blocks from the walls and remaining ceiling of the cavity, whereas the allochthonous material is mainly silts, coarse sands and quartz colluvially entering the cavity from the surrounding plateau.

Level 5a is located between 2.5 - 2.0 m depth, in the middle of S. Khatib’s ‘Ensemble III’ (interface between sub-Ensembles IIIa and IIIb) and in E. Debard’s ‘layer ha’. Level 5a lies directly on top of Level 5b, but appears to be separated from Level 4b by a thin layer of sterile sediment.

Level 4b is located between 2 - 1.8 m depth, in the middle of S. Khatib’s ‘Ensemble III’ (sub-Ensemble IIIb) and in E. Debard’s ‘layer g’. Level 4b is separated from Level 4a by archaeologically sterile ‘layer fb’ (composed of large fallen blocks). S. Khatib noted a larger proportion of clays, sphenes, potassium feldspaths and plagioclases, a higher grain-size of the sands and a diminution of quartz (Khatib 1989: 167). Level 4a is located between 1.8 - 1.5 m depth, in the middle of S. Khatib’s ‘Ensemble III’ (top of sub-Ensemble IIIb) and in E. Debard’s ‘layer fa’. Level 4a directly underlies Level 3.

Archaeological Level 3 is situated between 1.5 - 1 m depth at the top of S. Khatib’s ‘Ensemble III’ (sub-Ensemble IIIc) and is E. Debard’s ‘layer e’. It is directly between Levels 4a and 2, with no discernible sedimentary hiatus or erosion between layers. S. Khatib describes how this layer has the highest content of silts and quartz, and the lowest content of fine sands in the entire site (Khatib 1989: 167). The autochthonous material comes mainly in the form of stones and large blocks from the walls and remaining ceiling of the cavity, whereas the allochthonous material is mainly silts, coarse sands and quartz colluvially entering the cavity from the surrounding plateau and, starting in Level 3, a strong aeolian component with an increase in zircons and micas.

Archaeological Level 2 is situated between 1 - 0.25 m depth at the base of S. Khatib’s ‘Ensemble IV’ (sub-Ensemble IVa) and E. Debard’s ‘layer d2’. It is directly above Level 3, but separated from Level 1 by E. Debard’s ‘layer d1’ which, as described below, is a pedogenic horizon that was partly removed by erosion, before the deposition of ‘layer c’ that contains Level 1. E. Debard describes the geological context of this layer:

This is a very complex phase, of which the importance and the duration are largely unknown. Several phenomena occurred, and it is likely that traces of certain ones were not preserved.

A first group of events comprise the formation of a certain number of deposits after layer d1 and their pedological transformation. Layers d1 and d2, consolidated in breccia, constitute the pedogenic carbonate accumulation of a paleosol horizon.

A second group of phenomena, of an erosive type, caused the disappearance of the upper layers of the paleosol and a part of layer d1. The upper part of the latter is dug into by small basins and craters that sometimes almost completely dislocate the layer (Debard 1988: 90).

S. Khatib concurs, describing how the cavity was almost full, with few rocks being eroded from the walls and most of the sediment, predominantly clays, is of aeolian origin (Khatib 1989: 169).

Archaeological Level 1 is situated between 0.25 - 0 m depth at the top of S. Khatib's 'Ensemble IV' (sub-Ensemble IVb) and is E. Debard's 'layer c'. Level 1 is separated chronologically from Level 2 by a potentially considerable amount of time. The geological context and origin of sediments are broadly the same as described by E. Debard and S. Khatib for Level 2, with S. Khatib noting that the roof had totally collapsed and the presence of an increased proportion of aeolian transport of plagioclases, pyroxenes, and zircons (Khatib 1989: 170).

S. Laafar (Lafaar 1995) conducted micromorphological analyses on the entire Orgnac 3 sequence, providing detailed color plates of thin sections magnified under natural and polarized light. Laafar's results are generally in agreement with E. Debard's and S. Khatib's interpretations, and bring further evidence about the site's post-depositional history deserving of special attention. In geological layers i and j, corresponding to Levels 6 and 7, he notes "Carbonate features are represented by recarbonation in the basal mass and microsparite particles. Dissolution phenomena, especially isolated gaps and voids, affect the calcareous elements (wall fragments or stalagmitic encrustations) and the basal mass. [In layer i], this subset contains very abundant pebbles (limestone and fragments of stalagmitic slab) with an open fabric. They present polarized carbonate crusts (on the lower surface), also affected by dissolution voids" (Lafaar 1995: 44). About the fossils from these layers, he states "The bones are fragmented with fissures filled with secondary carbonates... The phosphate deposits

are restricted to fragments of coprolites with detrital inclusions, bone, and carbonate epigenizing deposits (phosphate encrustation)" (Lafaar 1995: 46).

About layers h to f (Levels 5b to 4a), Laafar reports "The basal mass and especially the fine fraction, show an enrichment in sparitic grains, of reddish-brown color. Some voids are filled by sparitic carbonates, in the form of root pseudomorphosis. Up sequence, the carbonates impregnate all the basal mass as well as the biological structures" (Lafaar 1995: 48), and "Bones are abundant and fractured... and sometimes affected by secondary sparitic carbonates. Some bones are embedded in rounded aggregates" (Lafaar 1995: 48). For layers e and d (Levels 3 and 2), he states "Carbonate features are present in the form of an intense impregnation of layer d. This impregnation is constructed by clear sparites and microsparites partially impregnating the basal mass and invading the sand grains. Towards the top of this layer and to the east of the site, we have associated with the sparitic facies, the acicular facies visible in the voids" (Lafaar 1995: 52), and "includes an abundance of bone-like elements, calcined and ferruginized by oxides whose voids are filled with microsparite" (Lafaar 1995: 52). Please see figure S2 for images taken during our work of how this post-depositional alteration, brecciation, and expansion have affected macrofaunal fossils in the site.

A. Djerrab (Djerrab 2001) conducted a magnetic susceptibility study of the Orgnac 3 layers, and S. Laafar, S. Abdessadok and A. Djerrab (Laafar *et al.* 2008) published a combined micromorphological and magnetic susceptibility analysis of the hearths in the sequence.

2.3 Radiometric Dating

2.3.1 Volcanics

Volcanic sediments were found in very small amounts all along the Orgnac 3 sequence. Green clinopyroxene was found in Level 2 of the site. E. Debard and J.-F. Pastre correlated these sediments to those deriving from an eruption of Mont-Dore (located a few hundred kilometers to the northwest), with the authors stating, "It is very probably correlated with a trachyandesite emission from the final eruptions of the Sancy [volcano] appearing around 0.30 Ma" (Debard & Pastre 1988: 1517). Additionally, fission-track dating of the same sediment provided an age of 298 ± 55 ka for Level 2 (Khatib 1989, 1994). Aeolian sphenes were found in the sequence as well, with E. Debard and J.-F. Pastre stating "We note however some fresh [sphenes] in layers j4 and i2 [archaeological

Levels 7 & 6 respectively] which could come from acidic trachyandesite emissions which mark the beginning of the terminal phase of activity at Sancy around 0.4 Ma” (Debard & Pastre 1988: 1517).

V. Michel *et al.* (Michel 2011, 2013) performed new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ total-fusion isotopic age estimates on 57 sanidine grain populations from the same volcanic source in Level 2. Eleven were excluded from the results for producing ages that were either too old (>550 ka) or too young (277.8 ka). The 2σ weighted mean of the remaining 46 samples is 302.9 ± 2.9 ka, which is agreement with previous estimates (table 2).

2.3.2 Uranium-series and Electron Spin Resonance

Most of the radiometric dates on the Orgnac 3 sequence derive from uranium-series and ESR analyses of samples taken from both the flowstone slab and 47 cm high stalagmite located in the lower levels of the site (fig. 6). G. Shen (Shen 1985) stated that the flowstone slab formed on top of Level 6, and that the stalagmite formed on top of Level 8 and reached to Level 6. Subsequent sedimentological, geomorphological and geochemical studies indicate that both the flowstone slab and stalagmite are in Level 7 (Debard 1988, Khatib 1989: 145). As seen in figure 6 (and others in Michel *et al.* 2013), the stalagmite and flowstone slab do not show the pure calcite structure of dripstone-like speleothem, and instead display a poorly bedded, porous, and chalky texture. Whether this appearance is due to how the carbonate was precipitated (biomediated or not; Pedley 1990, Gandin & Capezzuoli 2008), or the post-depositional alteration described above and below, this material appears quite susceptible to contamination by remobilized uranium, thorium, or other materials, which would especially affect uranium-series and ESR dates (Srdoc *et al.* 1994). As carbonate precipitation requires water to form, E. Debard and S. Khatib place the 'stalagmite' and 'flowstone slab' in Level 7 where there is sedimentological evidence for water action. There is no such evidence in Levels 6 - 5a.

G. Shen performed uranium-series dates on two samples from the flowstone slab and two from the stalagmite, one from the base and one from the top. When describing these samples, G. Shen stated:

Samples ORG82-1 and ORG82-2 are from the slab. The light-yellow calcite is quite pure and well-crystallized. Slices of bones and pieces of small stalactites fallen from the ceiling are visible in the chemically precipitated

calcite, attesting to the *in situ* formation of this slab” (Shen 1985: 135), and “Samples ORG82-3 and ORG82-4 represent respectively the top and the base of the stalagmite. This stalagmite does not seem to be very well preserved; indeed, some layers are detached and some alveolar zones are filled with clay, which implies partial dissolution due to groundwater. We have proceeded to a very careful selection of the samples to be analyzed, and small pure and compact pieces are still available (Shen 1985: 135).

With all these qualifiers, G. Shen produced ages of $374 +165/-94$ ka and $356 +266/-76$ ka for the slab, $364 +204/-69$ ka for the top of the stalagmite and $288 +82/-45$ ka for the base (table 2). This is a wide range, and in reverse stratigraphic order. G. Shen continued:

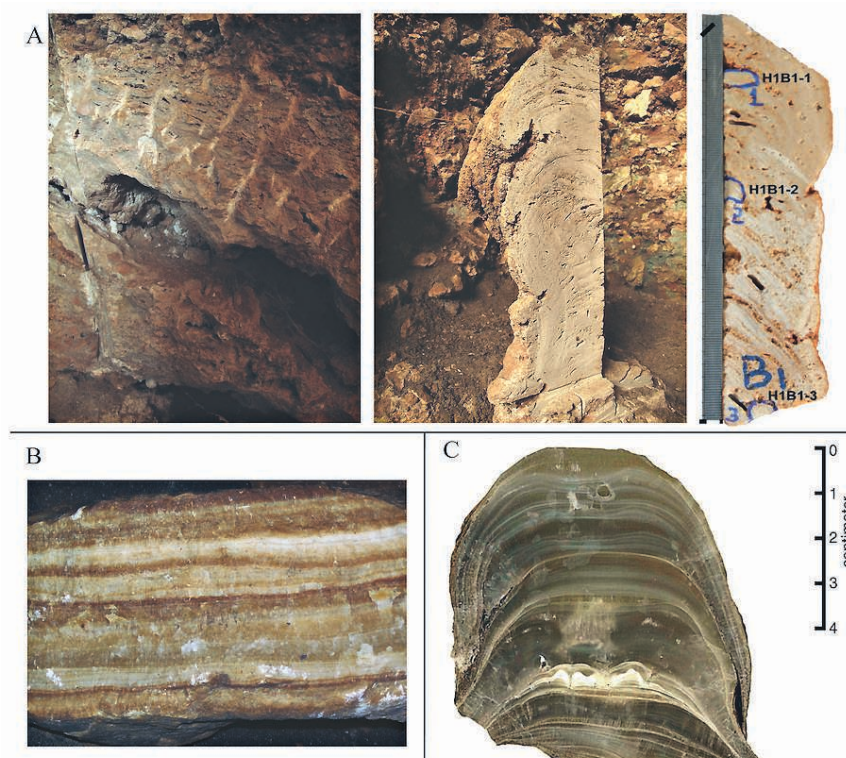
The calcite from this site is characterized by its low uranium content and low uranium isotope activity ratio. The $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ ratios vary between 15.7 and 18.5. Due to the very old age of these samples, correction of the initial ^{230}Th is not necessary. The four $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ratios are identical within the statistical error of 1 sigma. This indicates the good reproducibility of our measurements. The fact that all these ratios are close to secular equilibrium gives a slightly different aspect to what happens in the dating of the Caune de l'Arago or Petralona cave where this ratio sometimes exceeds secular equilibrium. The difference between equilibrium and the average of these four ratios, 0.953 ± 0.016 , is statistically significant, and it is therefore likely that the age derived from this last value, 339,000 years, better reflects the actual age of these stalagmitic formations (Shen 1985).

It should be noted that the $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ activity ratios reported for these samples are all less than 20, which is considered indicating contamination by detrital materials (Michel *et al.* 2013, Martínez-Aguirre *et al.* 2019). Shen concluded that given the poor state of preservation of the samples, and that in 1985 this antiquity was at the upper limit of the U/Th technique, it was difficult to distinguish between the ages of the different samples and to rule out the possibility that the real age of that level was older than 350 ka (Shen 1985: 135-137). C. Falguères (Falguères 1986) calculated an Electron Spin Resonance (ESR) date for a sample from the base of the flowstone slab, giving an age of 309 ± 34 ka. C. Falguères *et al.* (Falguères *et al.* 1988) re-reported the results from G. Shen (Shen 1985) and C. Falguères (Falguères 1986).

H. Masaoudi (Masaoudi 1995) performed U/Th dating on bones, enamel, and dentine, as well as ESR dates on those materials and the stalagmite, flowstone

Level	Shen 1985 U-series	Fal-guères 1986 ESR	Khatib 1994 Fission Track	Masaou-di 1995 U/Th Bone	Masaou-di 1995 U/Th enamel	Masaou-di 1995 U/Th dentine	Masaou-di 1995 ESR Bone (EU)	Masaou-di 1995 ESR Bone (LU)	Masaou-di 1995 ESR Bone (US)	Masaou-di 1995 ESR Bone (LU, P=1.10)	Masaou-di 1995 ESR Enamel (EU)	Masaou-di 1995 ESR Enamel (LU)	Masaou-di 1995 ESR Enamel (US)	Masaou-di 1995 ESR Burnt Qtz	Michel 2011 Ar/Ar & U-series	Michel 2013 Ar/Ar & U-series	Bahain 2022 TL burnt flint	Bahain 2022 ESR/U-series
1				>350	130 +17/-14	231 +22/-18	245 ± 37	423 ± 63			242 ± 36	360 ± 54	294 ± 44					248 ± 22
2			298 ± 55	218 +18/-16	100 ± 18	172 +11/-10	234 ± 35	368 ± 55	243 ± 36	462 ± 69	176 ± 26	244 ± 37	212 ± 31		308.2 ± 6.8	302.9 ± 2.9		261 ± 23
3				98 ± 4	159 +24/-19	189 +16/-10	246 ± 37	402 ± 60	568 ± 85	518 ± 78	160 ± 24	206 ± 30						236 ± 20
4a				201 ± 11	285 +116/-53	265 +30/-23	174 ± 26	284 ± 43			171 ± 25	213 ± 32						249 ± 31
4b				158 ± 9	129 +16/-14	142 +10/-9	120 ± 18	198 ± 30			156 ± 23	210 ± 31	169 ± 25	375 ± 56				287 ± 31
5a				89 ± 3	59 ± 4	94 ± 4	161 ± 24	272 ± 41	363 ± 54	363 ± 54	111 ± 17	161 ± 24	132 ± 19	501 ± 75			210 ± 20 217 ± 34 224 ± 20 43 290 ± 29 297 ± 55 332 ± 35	280 ± 29
5b				84 ± 3			137 ± 21	243 ± 39	339 ± 51	338 ± 50				475 ± 71	261 ± 6 to 305 ± 14	"265 ± 4 273 ± 12 280 ± 5 295 ± 8 312 ± 15"		
6	Slab = 374 +165/-94 356 +266/-76 Top Sta-lag = 364 +204/-69 Base Sta-lag = 288 +82/-45	309 ± 34		>350	83 +10/-9	75 ± 4	382 ± 57	653 ± 98			130 ± 19	166 ± 24	162 ± 24				244 ± 21 268 ± 38 291 ± 32 291 ± 32 32 337 ± 29	281 ± 28
7				71 ± 2	214 +46/-31	>350	112 ± 17	189 ± 28	230 ± 34	252 ± 38	228 ± 35	305 ± 48						311 ± 30

Table 2. Every radiometric date ever published for the Orignac 3 sequence. Please see main text for background, discussion, and references.



6. Comparison of the (A) flowstone (left) and stalagmite (middle) from Orgnac 3, with a closeup of the stalagmite (right) from Michel *et al.* 2013, to cross sections of (B) travertine speleothem (Luray Caverns, Virginia, USA, photo credit: James St. John), and (C) typical dripstone speleothem calcite (from figure 2 of Schwarcz 2007).

slab, and burnt quartz. The U/Th dates for bones, enamel and dentine are incoherent and out of chronological order; when explaining this result, H. Masaoudi stated “These results show that the site of Orgnac 3 has known very important geochemical alteration. The opening of the site to the migration of uranium has been made evident. The lower levels are the most affected by this alteration. It proves difficult to apply the U/Th method to the bones, dentine and enamel of this site” (Masaoudi 1995: 69). The ESR dates on bones, enamel and dentine are also very incoherent and out of chronological order, often getting younger going down the sequence (table 2); when explaining this result, H. Masaoudi stated “No matter which incorporation model is used, the ages obtained by ESR on enamel are too young in relation to the geochronological and biostratigraphic data from the site, except for Level 1 which gives coherent ages” (Masaoudi 1995: 79). For the ESR dates on the stalagmite, flowstone slab, and burnt quartz, H. Masaoudi presents sets of wide dates, but does not make any mention of how the geochemical alteration or other problems he previously described might affect those dates. It is important to note that H. Masaoudi’s ESR dates for burnt

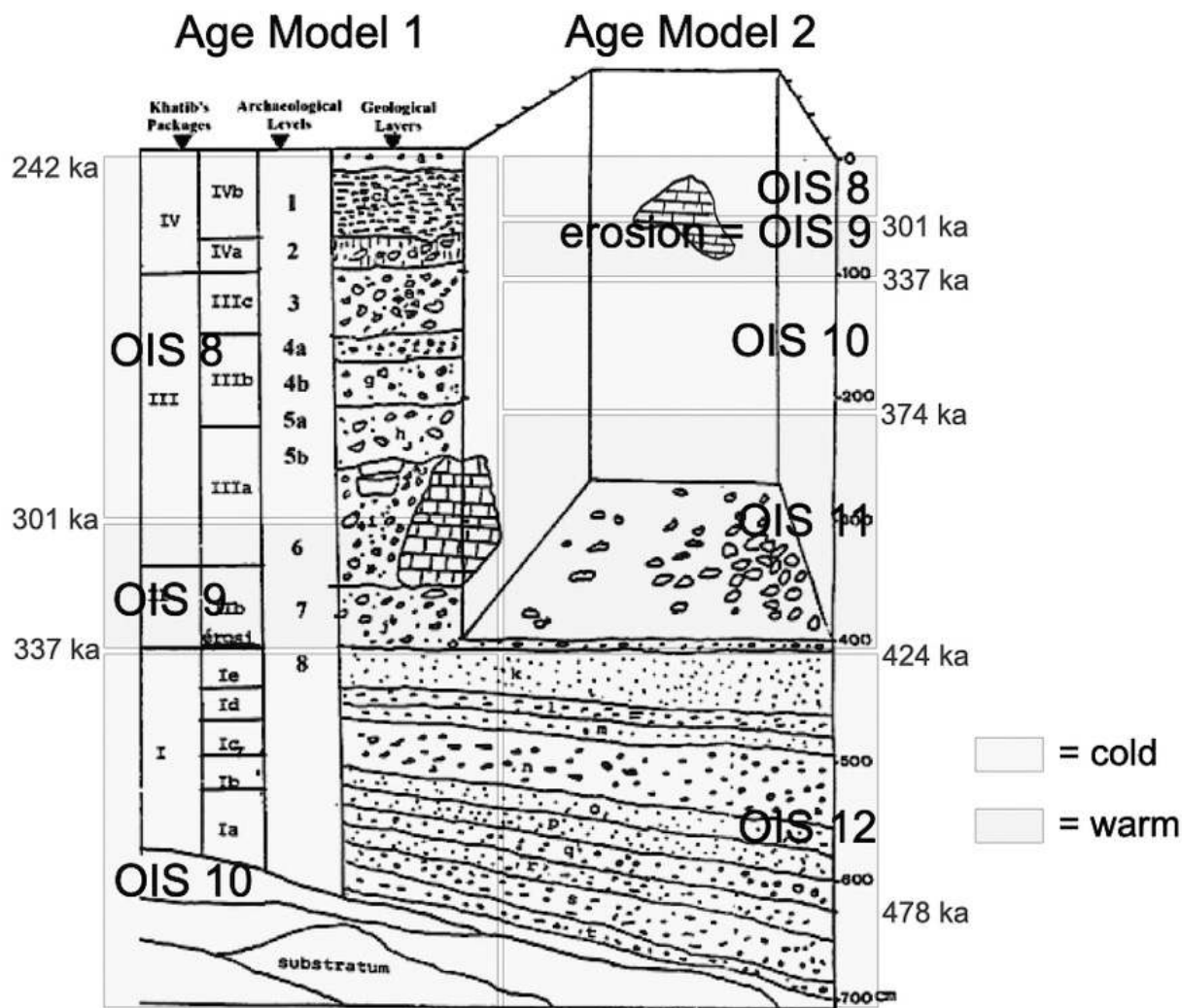
quartz, the one dating method that is less vulnerable to geochemical alteration because its ‘clock’ is based on a high temperature event rather than the deposition of carbonates, are coherent and are around 100 ka older than the stalagmite/flowstone slab dates (table 2), yet come from the 3 levels *above* the stalagmite/flowstone slab (Masaoudi 1995: 84).

V. Michel *et al.* (Michel *et al.* 2011) performed new MC ICPMS U/Th analyses on four carbonate samples from throughout the stalagmite and flowstone slab. These authors place the stalagmite and flowstone slab generally in Levels 7, 6, and 5b, without more precision or explanation of how they arrived at this new stratigraphic interpretation. They do not report any resulting data, only that their age estimates range from 261 ± 6 to 305 ± 14 ka (table 2).

V. Michel *et al.* (Michel *et al.* 2013) performed 14 additional ICP-MS U/Th analyses on carbonate samples from throughout the stalagmite and flowstone slab. These authors now place the stalagmite in Levels 6 & 7, and the flowstone slab in Levels 6 & 5b. The upper 3

of the 8 samples from the flowstone slab were excluded from age calculation due to low $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ activity ratios caused by “contamination by detrital materials” (Michel *et al.* 2013). One of the 6 samples from the stalagmite was excluded from the results as it was much too young compared with the adjacent samples, the authors stating that this sample was “probably biased by post-depositional diagenesis” (Michel *et al.* 2013). The two-third of samples that were retained produced ages that are also incoherent and out of chronological order (table 2) with dates ranging from 265 ± 4 ka to 312 ± 14 ka, but not in a logical sequence from top to bottom stratigraphically. When trying to account

for the differences between this date range and the 302.9 ± 2.9 ka $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ date from the top of Level 2 higher up in the sequence discussed earlier, they do not question the validity of the U/Th dates and instead argue that either there was “a slight contamination of sanidine grains or by a minor excess of ^{40}Ar ” or “the volcanic minerals were transported to the site tens of thousand years [*sic*] after the Sancy eruption” (Michel *et al.* 2013: 5). They make the latter argument despite showing very well preserved sanidine grains under SEM magnification in their figure 7 and stating in the legend that “The minerals are sharp-edged and unweathered” (Michel *et al.* 2013: 8).



7. Two separate age models that can be constructed from published data for the Orgnac 3 deposits (background adapted from Khatib 1989: 10).

Most recently, J.-J. Bahain *et al.* (Bahain *et al.* 2022) published new thermoluminescence (TL) ages on burnt flints from Levels 5 & 6 (though it is not explained why Levels 5a & 5b were combined), and recalculations of H. Masaoudi's (Masaoudi 1995) ESR/U-series dates on mammal teeth. These ESR/U-series recalculations were informed by *in situ* dosimetry data collected via dosimeters installed into Levels 4b, 5a, 5b, and 6 (though no information is given about when or under what auspices this dosimetric fieldwork was conducted). Six TL dates from Level 5 range from 210 ± 20 ka to 332 ± 35 ka, with an average age of 262 ± 36 ka; five dates from Level 6 range from 244 ± 21 ka to 337 ± 29 ka, with an average age of 286 ± 30 ka (table 2). The seven recalculated ESR/U-series dates from Levels 1 through 7 range from 236 ± 2 ka to 311 ± 30 ka, but are not always in chronological order down the sequence (table 2). Based on these dates, they propose that Level 8 and below were deposited during OIS 10 (ca. 375 - 340 ka); that Levels 7 & 6 were deposited during OIS 9 and the OIS 9 - 8 transition (up to Amargiers interstadial; ca. 340 - 270 ka); that Levels 5 through 1 were deposited during OIS 8 (post Amargiers interstadial; ca. 270 - 240 ka). When trying to account for the differences between this date range and the 302.9 ± 2.9 ka $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ date from the top of Level 2, they argue that while it “is analytically accurate, it likely corresponds to reworked minerals in the sediments associated with an older volcanic event disconnected from the archaeological record, and it should be considered with caution as the dated minerals are probably reworked into the Orgnac 3 sequence” (Bahain *et al.* 2022: 9).

3. ARCHAEOLOGY AND PALEOANTHROPOLOGY OF ORGNAC 3

3.1 Artifacts

The site of Orgnac 3 has also yielded just over 50,000 stone artifacts (table S1, modified from Moncel 1999), over half of which come from Level 1 alone. The vast majority are knapped on local flints which outcrop a few kilometers from the site in the form of long plates. A small number of pieces are knapped on flint from the Rhône Valley, which is 15 km away, and also on limestone, basalt, and quartzite. The proposed presence of complete *chaînes opératoires* suggests that intense flaking activities took place at the site, although details of the spatial associations of these *chaînes opératoires* are not described (Aouraghe 1992, Moncel *et al.* 2005). Work by M.-H. Moncel *et al.* (Moncel *et al.* 2005) have shown that at least in Levels 2 & 6, dense concentrations of stone tools occur in association with dense concentration of faunal remains, and that these

are often spatially associated with ash and charcoal lenses that could be interpreted as hearths. No fluvial sorting or preferential orientation has been observed for the material, and refits generally occur between pieces that were located close to one another. The lithic material presents a white patina on most flints. Rare physical alteration (notches and breakage) suggests little if any post-depositional movement or slumping of the sequence.

The Orgnac 3 sequence is important to understanding the evolution of lithic technology, as it contains the gradual appearance of Levallois flaking methods. Levallois flaking is not currently attested in the deeper Levels 7 through 4b, then gradually appears in Level 4a and reaches a frequency of 20% in Level 2 (Combiér 1967). Moving vertically up the sequence, the number of bifaces diminishes, while the number of choppers and chopping tools increases. Scrapers are present throughout the sequence, but the flaking techniques used to make them are considered as more standardized, with thinly backed scrapers with bifacial retouch present in Level 3 (Combiér 1967). Level 1 is the richest in lithics, with over 27,000 artifacts, amongst which 80% are flakes and cores. The lithics of this level are characteristically Levallois, with a predominance of scrapers, and also the appearance of denticulates, but bifaces are absent (Combiér 1963).

The archaeological levels were initially grouped into four units based on lithic technology: Level 1 as Pre-Mousterian, Levels 2 - 3 as Upper Acheulean III, Level 4 as Upper Acheulean II, and Levels 5, 6, & 7 as Upper Acheulean I (Combiér 1967). The Pre-Mousterian is characterized by containing a large amount of Levallois flaking methodologies. The Upper Acheulean III is characterized by “a clear tendency for ‘mousterianisation’, despite having very pure [stylistically and technically real] Acheulean bifaces... The scrapers, whose representation by types barely changes, are better than in the former levels; the percentage of thick forms of Clactonian removals lessens, as do the scrapers, burins, and perçoirs” (Combiér 1967: 91). The Upper Acheulean II is different from the industries that surround it. “It is less rich, in total, in scrapers, while correspondingly the richest in notches and denticulates; they are everywhere in Level 4b” (Combiér 1967: 91). These Upper Acheulean sub-designations have not been widely discussed or used subsequently in the Paleolithic literature.

Anglophone authors have included data from the Orgnac 3 lithic material in their analyses. In 1985, H.L. Dibble included length, width, and thickness measurements from the Levallois flakes from Levels 2 and 3 of Orgnac in his analysis of the effect of variation

in lithic raw material on flake manufacture (Dibble 1985). G.F. Monnier (Monnier 2006) included length, width, and thickness measurements, as well as data on the type and location of retouch and the degree of symmetry of retouched tools in her analysis of whether tool types become more standardized over time. His results allow him to “reject M.-H. Moncel and J. Combiér’s (Moncel & Combiér 1992a, 1992b) claims that retouched tools at Orgnac 3, particularly scrapers and ‘convergent tools’, become more standardized from the oldest to the youngest levels” (Monnier 2006: 76). J. Shea (Shea 2009) included measurements of maximum width and thickness on points (taken from M.-H. Moncel [Moncel 2005] and unpublished data) in his analysis of the development of projectile weapon technology. His results suggest that the lithics from Orgnac (indeed, all European MP lithics) were not used as projectiles, and that, for him, projectile weapon technology was first developed “among African *Homo sapiens* populations between 50 and 100 ka” (Shea 2009: 195).

More recent work has continued to examine the evidence at Orgnac 3 for the emergence of Levallois core technology (Moncel *et al.* 2020), and technological and traceological analysis of percussion activities on both lithic and faunal material (Mathias *et al.* 2021).

3.2 Hominid Remains

Seven hominid teeth were discovered from Levels 5a, 5b, and 6. An adult upper right canine was discovered in 1962, and two deciduous incisors and 4 deciduous molars were discovered between 1968 and 1971. M.A. de Lumley (de Lumley 1976) reports that two of the deciduous molars come from a juvenile around 9 years old, whereas two incisors come from a juvenile around 5 years old. Examination of one lower left deciduous 2nd molar (specimen Homo 2) shows that the crown is more mesio-distally elongated and generally bigger than in modern human and Neanderthal juveniles. M.-A. de Lumley claims that this specimen shares many characteristics with the lower left deciduous 2nd molars from la Caune de l’Arago, such as a more mesio-distally elongated crown, a large and deep anterior fovea, and a developed cervical tuberosity on the buccal side. Based on these comparisons, M.-A. de Lumley attributed the hominid remains from Orgnac 3 to ‘pre-neanderthal’ (de Lumley 1976). No information is given about the two remaining molars, and no photographs or drawings of any of the specimens have ever been provided, except a photograph of one of the deciduous molars *in situ* during excavation in 1968 (fig. S3; Combiér 1968, 1971).

4. PALEONTOLOGY, ZOOARCHAEOLOGY, AND BIOCHRONOLOGY OF ORGNAC 3

4.1 Paleontology

Approximately 10,000 identifiable faunal remains were uncovered at Orgnac 3; ~7,000 large mammal specimens are listed by level by H. Aouraghe (Aouraghe 1992). Different categories of the fauna have been analyzed by different researchers at different times (table S2). The carnivores, equids, cervids, and bovids were described by H. Aouraghe (Aouraghe 1990, 1992, 1999). Morphological description, the number of identified specimens, the minimum number of individuals, and sometimes measurements for skeletal elements were reported (table S3).

The equids were further analyzed by A. Forsten and A.-M. Moigne (Forsten & Moigne 1998). This work provides an age profile for the equid assemblage based on dental eruption and wear, and grapples with the species determination between *steinheimensis* and *mosbachensis*. They divide age into 7 general categories and report the number of individuals in each age category by stratigraphic level (table S4; note that the MNIs in this analysis differ from those of H. Aouraghe [Aouraghe 1992]). Based on morphological comparisons of the teeth and metapodials, they attributed the Orgnac horse to *E. steinheimensis*, though H. Aouraghe attributed them to *E. mosbachensis*. The *Rhinocerotidae* material was examined by C. Guérin (Guérin 1980). The *Macaca* material was examined by A.-M. Tillier and B. Vandermeersch (Tillier & Vandermeersch 1976). Lagomorphs were identified and analyzed by K. El Guennouni (El Guennouni 2001). Micromammals from the site were systematically identified and analyzed by M. Jeannet (Jeannet 1974, 1981, 2000) and further by N. El Hazzazi (El Hazzazi 1991, 1998a, 1998b) and A.-C. Paunescu (Paunescu 2007).

Birds from the site were systematically identified and analyzed by C. Mourer-Chauviré (Mourer-Chauviré 1975a, b). The carnivores were initially identified by R. Ballesio (unpublished), and the felidae and hyaenidae were further studied by A. Testu (Testu 2006). The *Ursus thibetanus* and *Hemitragus* materials were revised by E. Crégut-Bonnoure (Crégut-Bonnoure 1996, 2002).

4.2 Zooarchaeology

The focus of H. Aouraghe’s (Aouraghe 1992) work was to identify the large mammal remains to element, side,

and species, and to use these to inform paleoecological and biostratigraphic reconstructions for the site. Only 13 pages (out of almost 500) were dedicated to any type of zooarchaeological analysis, which was admittedly preliminary in scope. Skeletal part representations for the equids, cervids and bovids were provided (these values do not include shaft fragments). Specimens were aged to young, adult, and old based on levels of dental wear and epiphyseal fusion, but these are only reported colloquially throughout the text and no analysis of mortality profiles was performed. The presence of cut marks and carnivore and rodent tooth marks on the faunal remains are qualitatively described throughout the text and provides 5 photographs thereof (3, 1, and 1, respectively) are provided (Aouraghe 1992). While this work represents an important first step, it does not contain the analyses required to support the zooarchaeological conclusions that were presented: that hominids were the main, almost sole accumulator of the materials in the site, and that they occupied the site for a very long time.

Further discussion on zooarchaeological aspects of the Orgnac 3 fauna were presented by A.-M. Moigne and D.R. Barsky (Moigne & Barsky 1999). Only two paragraphs are spent, most of which is citation of H. Aouraghe's work, many of which are contradictory. For example, it is stated that "it is important to note that burnt bones are very numerous in all archaeological levels, especially in Level 6" (Moigne & Barsky 1999: 229), whereas H. Aouraghe stated "however, the quantity of burnt remains is slightly more important in the upper levels: Level 2 is very rich in burnt bones, particularly in bone splinters" (Aouraghe 1992: 433). It is stated that bone preservation is excellent, with teeth making up less than 50% of the material, and that "all skeletal elements are well represented" (Aouraghe 1992: 228). This directly contradicts H. Aouraghe's skeletal part representation data (fig. S4). The conclusion that "at Orgnac 3, prehistoric hunters, successively occupying the changing floors in the shelter, brought complete animal carcasses back to the site and processed them there" (Aouraghe 1992: 229) is not demonstrated by the data presented.

Y. Sam's (Sam 2009) zooarchaeological study did not include identifiable elements from over 30 drawers of material (from which we identified ~1400 additional elements, see Supplement for details), nor any mention of this material or their taphonomic implications. The faunal data used were derived from the *CERPT* online inventory database, which contains 15 and 20% mis-identified elements, either to element, side, species, or a combination thereof (see Supplement for details). The majority of the zooarchaeological calculations in the analyses were

done on faunal remains from the entire site, not for each individual level. For example, his figure 95 (fig. S5) shows anthropogenic damage locations on red deer [page 200], or calculations of skeletal element profiles [pages 125-137], etc.). This means that, according to the chronology used by Y. Sam (which places the site's layers between 300 - 360 ka), 60,000 years of faunal accumulation by multiple factors are being time-averaging into one single analytical unit.

Interestingly, K. El Guennouni (El Guennouni 2001) mentions two lagomorph metatarsals with cutmarks on their plantar surface indicative of skinning (El Guennouni 2001: 200).

There are over 30 drawers of material from Orgnac 3 in the *CERPT* in Tautavel for which square and level provenience are known but had never been studied because they lacked specific 3-D XYZ coordinates. As an example of what these drawers contain, figure S6 shows the contents of bag chosen at random and sorted, which included: natural rocks, lithic pieces, identifiable faunal specimens, faunal specimens with surface modifications (e.g. carnivore tooth marks, cut marks), burnt faunal specimens, faunal specimens that were too covered with concretions to be analyzed, etc. The lithic and faunal samples used in the spatial analyses presented by M.-H. Moncel (Moncel 1996) and M.-H. Moncel *et al.* (Moncel *et al.* 2005) are therefore potentially biased to include only the specimens large/important/identifiable enough to have been given specific 3-D XYZ coordinates during excavation 50 years ago (see OSM for further discussion on these spatial analyses).

Certain aspects of the aforementioned work suggest that carnivores may have been involved in accumulating bones in the lower levels of the site. In addition to determining that carnivores in general were involved in accumulating bones at a site, it is often possible to investigate which genera/species of carnivore in particular was involved. For example, K. Cruz-Uribe (Cruz-Uribe 1991) identified and described six indicators that a bone assemblage was accumulated by hyenas:

1. Carnivore/ungulate ratio. In hyena accumulations the ratio to carnivore to carnivore + ungulate remains is at least 20%; in hominid accumulated assemblages it is usually less than 10% and always less than 13%.
2. Damage to bone surfaces. Distinctive hyena damage includes striations, pitting, grooves, scooping, and acid-etching. Bone surface preservation in fossil assemblages may not be so good,

therefore low percentages of carnivore damaged bones do not necessarily exclude hyenas as a bone accumulator.

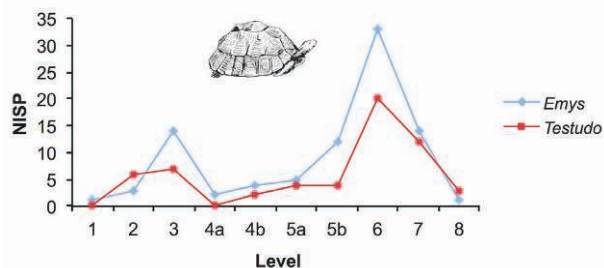
3. Bone breakage. Hyena accumulations are generally characterized by ‘bone cylinders’ in which the epiphyses have been chewed off, whereas hominid accumulations tend to have many broken shafts and intact epiphyses. It has also been generalized that carnivore accumulations are less fragmented than human accumulations. Post-depositional bone fragmentation and destruction must always be accounted for.

4. Cranial/postcranial ratio. In hyena accumulations, the cranial/postcranial ratio tends to increase with ungulate size. Large ungulate postcranial bones tend to come from adults, whereas the large ungulate dentitions tend to come from juveniles. No such patterning is visible in hominid accumulations.

5. Representation of small, hard bones. These tend to be rare in hyena accumulations, regardless of the preservation level of bone in the site. Conversely, small hard bones tend to be common in hominid accumulations, and superabundant in very fragmented samples.

6. Age profiles. Age, or mortality, profiles, tend to be attritional in hyena accumulations, whereas they can be either attritional or catastrophic in hominid accumulations, depending on how the animals were obtained.

The skeletal remains from the lower levels of Orgnac 3 are very interesting in this regard. According to figure S4, in Level 7-8, carnivores make up ~40% of the faunal remains (compare this to figure S7, in which this number is ~20%), and spotted hyenas make up ~27% of the carnivores in Level 7-8 (both of these values are the highest of all levels) and 19.3% of carnivores in the site overall (fig. S8). No indications of hyena stomach acid etching on the bones were previously reported, but also



8. Abundances of *Emys* and *Testudo* carapace remains in Orgnac 3's levels.

that the bone surfaces are often hard to see because of sediment concretions, which is inconclusive. To address the level of bone fragmentation, for species where NISP and MNI values were reported by H. Aouraghe (Aouraghe 1992) by level, the NISP was divided by the MNI to calculate a ‘fragmentation index’. For *Ursus deningeri*, *Equus caballus*, *Dicerorhinus hemitoechus*, *Sus scrofa*, and *Cervus elaphus*, Level 7-8 is not the most highly fragmented level (usually in the 50 – 80 percentile), whereas for *Canis lupus*, it is the highest (table S3). For the equids in the site, A. Forsten and A.-M. Moigne (Forsten & Moigne 1998) provide a mortality profile for Level 7 that contains 1 infant, 1 juvenile, 1 sub-adult, and 1 very aged individual (table S4). This is the most attritional equid mortality profile of any level in their report. It is not possible to determine the cranial/postcranial ratio, small-hard bone representation, or age profiles for other taxa, as the necessary data has not previously been reported for Orgnac 3. We know hyenas were present in the site, that in Pleistocene Europe spotted hyenas were important bone accumulators (e.g. Campbell 1977, Stuart 1982, Sutcliffe 1985, Gamble 1986, Fourvel 2012), and that their assemblages are reported to contain a large number of carnivores, including members of their own species (Stuart 1982, Gamble 1986). The three indicators of hyena accumulation for which data was available in the 1990's suggest that hyenas may have been involved in accumulating the faunal remains in Levels 7-8.

4.3 Biochronology

The first to attempt a biochronological date for the site was C. Guérin (Guérin 1980: 615-618). He placed geological layers from Orgnac 3 into his mammal chronological ‘Zones’ as follows:

- layers o through k into his Zone 22, equivalent with Mindel, Elster, Lovestoft (generally correlated to OIS 12, 478–424 ka).
- layer i into his Zone 23, equivalent with Mindel-Riss, Holsteinian, Needian, Hoxnian (generally correlated to the early part of OIS 11, 424 ~ 390 ka).
- layer g into his Zone 24, equivalent with Riss, Saale, Gipping (generally correlated to the early part of OIS 10, 364 ~ 340 ka).

According to H. Aouraghe (Aouraghe 1992), the biochronological aspects of the fauna from the site, such as the presence of *Canis lupus lunellensis*, *Apodemus sylvaticus*, *Microtus brecciensis*, *Eliomys quercinus*, and an archaic form

of *Crocota spelaea* indicate that the lowest archaeological levels derive from the end of the early Middle Pleistocene, whereas Level 2 can be attributed to just before the late Middle Pleistocene based on the presence of *Rupicapra rupicapra*, *Hemitragus bonali*, *Ursus deningeri*, and *Equus caballus mosbachensis*. This is generally congruent with the radiometrically-derived dates, but spans a wider time range. H. Aouraghe concluded that the depositional history suggested by the fauna would “require a longer amount of time than has been proposed [by the radiometric dates]” (Aouraghe 1992: 462). A. Testu (Testu 2006) described aspects of the Felidae that also suggest a mismatch between the radiometric dates and the biochronology: “The cat [*Felis silvestris*] from Orgnac 3, although more recent, preserves some archaic characters, in particular the shortening of the protoconid on the P4, which recalls more ancient forms” (Testu 2006: 283).

Based on the microfauna, M. Jeannet (Jeannet 1974, 1981: 65), concluded:

All of this encourages us to think that Orgnac 3 is situated in the transitional Mindel-Riss. I [Jeannet] was tempted to correlate the site with some other sites that I was able to work on in the following manner:

Orgnac 3 (g, h) - phase IV	= La Fage (en partie)	= Riss I
Orgnac 3 (i, j) - phase III	= Lunel-Viel 1, Coudoulous 1 niveau 8	= Mindel-Riss
Orgnac 3 (k, l, m) - phase II	= Saint-Estève-Janson H	= Mindel final
Orgnac 3 (n, o, p) - phase I	= Montoussé 3	= Mindel supérieur

Due to the presence of some particular species, the chronostratigraphic relations can be established between Orgnac 3 and the other sites where they can be collected.

This conclusion was mirrored by J. Chaline (Chaline 1975: 114): “A sure stratigraphy of these periods will be possible when we have at our disposal very long sequences that overlap in time, like at Saint-Estève-Janson, Orgnac 3, and Aldène.” She showed her proposed correlation between those sequences, and others, in her figure 36 (fig. S9), which matches M. Jeannet’s chronological placement of the Orgnac 3 layers. Based on this same microfauna, N. El Hazzazi (El Hazzazi 1998a: 129) concluded:

This study allows us to sketch a regional chronostratigraphy based on the evolution of the

genus *Arvicola* in this part of France. Thus, in the site of Orgnac 3, there is the presence of a homogeneous archaic population, as indicated by their morphology as well as the degree of differentiation of the enamel bands; this population alongside *Pliomys episcopalus* and *Pliomys chalinei* (Jeannet 1974), and *Erinaceus davidi* (El Hazzazi 1991), belongs to the species *Arvicola cantiana*. The SDQp indices obtained for this site allow us to give a Holsteinien [OIS 11] age to levels 6 and 7 and a Saalien [OIS 10] age to levels 4 and 5.

In A.-C. Paunescu’s (Paunescu 2007) more recent and detailed work on the microfauna, most morphological and biometric analyses indicated a very strong correspondence between the community at Orgnac 3 and those of La Caune de l’Arago Ensembles I to III (dated to 690 - 400 ka, OISs 14 - 9; Falguères *et al.* 2015) and Visogliano (dated to 500 - 350 ka, OISs 13 - 10; Falguères *et al.* 2008), and appears slightly more archaic than Ensembles II-III of Baume Bonne (OISs 10 - 8; Gagnepain & Gaillard 2005).

5. CHRONOLOGICAL ISSUES WITH THE ORGNAC 3 SEQUENCE

As described above and detailed in table 2, there is a mismatch between the different radiometric dates for the Orgnac 3 sequence and between these mismatched measurements and the biochronological timeline of the sequence. S. Khatib (Khatib 1989: 181), described sedimentological indicators of the site’s chronology and how they do not match with the radiometric dates:

The two absolute dates made on the site allow us to situate the sequence in the isotopic stratigraphy of the Quaternary.

- Ensemble II dated to -339,000 years on average corresponds to the lower limit of OIS 10, but the sedimentological and geochemical data indicate that it represents a climatic warming period, which allows us to situate Ensemble II in OIS 11. This supposes that the date is too recent to be attributed to this stage.

- Ensemble IV dated to -298,000 ± 55,000 years, corresponds to OIS 9 or the equivalent of a climatic warming period. The sedimentological data is going in the direction of a climatic cooling period; it is very likely that here too, the date is lightly underestimated. This ensemble could therefore still be in OIS 10. The superficial alteration of this ensemble (level IVb) corresponds to warm stage 9.

- According to the isotopic stratigraphy of the Quaternary, we can situate Ensemble I, for which the sedimentological analyses indicate a very cold and dry climate, in OIS 12.

The same goes for Ensemble III which can be situated in cold OIS 10, as the sedimentological and geochemical data correspond to a cold and humid climate.

As seen in table 2, in much of the dating work the younger dates come from further down in the sequence. This is the opposite of what would be expected from a closed system environment, and what would be expected if uranium was mobilized and reprecipitated further down the stratigraphy and/or the inverse for thorium. The poor precision, accuracy, and/or internal consistency of the radiometric dates argue for a longer period of deposition of the Orgnac 3 sediments than mainly occurring in OISs 9 and 8, as proposed in most publications (*e.g.* Moncel *et al.* 2005, 2011, 2012, Michel *et al.* 2011, 2013, Bahain *et al.* 2022 and references therein). Based on the available data, two distinct chronological reconstructions can be made for the Orgnac 3 deposits (fig. 7):

- Age Model 1, based exclusively on published radiometric dates, would suppose that the non-archaeological layers below Level 8 are from OIS 10, and that the archaeological layers are from OISs 9 and 8.
- Age Model 2, based on the geological and paleontological data, would suppose that the non-archaeological layers below Level 8 are from OIS 12, and that the lower half of the archaeological layers are from OIS 11, the upper half are from OIS 10, and that Level 1 is from the beginning of OIS 8, while OIS 9 is mainly represented by Levels 3, 2, and the erosional non-conformity between Levels 2 and 1. During OIS 9, the OIS 10 deposits were post-depositionally altered and the circulation of carbonate-charged water formed the dense concretions covering the bones and lithics from those levels.

In order for Age Model 1 to be accepted, one must disregard nearly all of the conclusions stated in the analyses of the site's geology (*e.g.* Debard 1988, Khatib 1989, Lafaar 1995) and faunal assemblages (especially the microfauna; El Hazzazi 1998a, Paunescu 2007), and allow for the volcanic minerals in layer d1 to have been blowing and washing around on the surface for over 50 thousand years before ending up there, but still look "sharp-edged and unweathered". Meanwhile, the reasons to reject this age model have already been given

by many previous researchers: after the collapse of the karstic cavity and the opening of the layers to the surface, rain and ground water movement through the layers caused remobilization of uranium and/or thorium in the sequence (an open system), causing any U-series or ESR dates to be underestimated (*e.g.* Claes *et al.* 2020).

If Age Model 2 is accepted, instead of archaeological levels 8 - 2 (corresponding with geological layers k - d) dating from 350 - 250 ka (centering around 300 ka), they would instead date from OIS 11 & 10, 427 - 334 ka. The non-archaeological levels below, geological layers l - t, would therefore date to OIS 12, 474 - 427 ka. Level 1, from geological layer c, is separated from Level 2 by an erosional event and the clinopyroxene and its associated date of ~300 ka is situated on top of the altered and 'dug into' layer d1; the ~300 ka date is therefore a maximum age of Level 1, but these capping sediments, fossils and artifacts could in fact be much younger. This revised chronology is substantially older and of a longer duration than the radiometric dates suggested and appear to be more in line with the depth of deposition and both macro- and micro-faunal changes recorded in the site. Additionally, figure 8 shows the abundance of two reptiles in the sequence, the European pond turtle (*Emys orbicularis*) and a terrestrial tortoise *Testudo* sp. (Lewis 2011). Both are markers of warm and wet environments, especially the latter, which is characteristic of interglacials in the European Middle Pleistocene record (Morales Pérez & Sanchis Serra 2009, Sommer *et al.* 2007). Their abundances match what would be expected if there were a transition from interglacial, to glacial, and then another interglacial at the top of the sequence.

Overall, the history of work presented here suggest that Age Model 2 is more likely, with the non-archaeological layers below Level 8 being from OIS 12, and that the lower half of the archaeological layers are from OIS 11, the upper half are from OIS 10, and that Level 1 is from OIS 8, while OIS 9 is represented by an erosional non-conformity between Levels 2 and 1 and an increase in warm signals (like red deer, turtles, carnivores, etc.) in Levels 2 and 3 due to mixing. The sedimentological signals of cold periods are reflected in changes in species abundances throughout the sequence, arguing against the deposits having been laid down in one single OIS stage. With the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ date of 302 ± 2.9 ka (a date right at the transition between OIS 9 and 8) between Levels 1 and 2, it would be questionable to place all of Levels 3 though 8 in the warm OIS 9 period. Such a model would require the 7 m of stratigraphy at Orgnac 3 to have been deposited in less than 100 ka, which is rarely seen in major Mediterranean Middle Pleistocene sites, the vast majority

of which required several hundred thousand years to form such depth (e.g. Gran Dolina, Arago, Vallparadís, Visogliano, Petralona, etc.; Cook *et al.* 1982, Carbonell Roura & Rodríguez Alvarez 1994, Grün 1996, Falguères *et al.* 2008, 2015, Martínez *et al.* 2013). Most of the above-cited sedimentological and dating researchers describe how post-depositional geochemical alteration has made Uranium-series and most ESR analyses dubious. Meanwhile, the fission track and ESR dates on burnt quartz match up with what would be predicted in Age Model 2. Previous authors' reconstructions of the lower levels dating from OIS 9 and the upper levels from OIS 8 (e.g. Moncel *et al.* 2005, 2011, 2012, Michel *et al.* 2011, 2013, Bahain *et al.* 2022 and references therein) therefore are not supported by the majority of the available evidence. The history of the KBS Tuff Controversy from the Pleistocene of Koobi Fora, Kenya (Lewin 1997) serves as a cautionary tale of what happens when questionable radiometric dates are prioritized over the weight of stratigraphic and biochronological evidence. If Age Model 2 is shown over time to be correct, Orgnac 3 would record one of the oldest and longest paleoanthropological sequences in Western Europe.

6. CONCLUSION

Orgnac 3 is a key site in the quest to understand the paleoecological, behavioral, and morphological changes that were taking place during the Middle Pleistocene that included the separation of the modern human, Neanderthal, and Denisovan lineages. However, a review of the previous work performed on the site and the conclusions drawn from those studies show that Orgnac 3 remains misunderstood. The Orgnac 3 deposits most likely date to OISs 12, 11, 10, and some of 9 and 8, not only OIS 9 and 8 (making the site ~100 ka older than proposed by other authors based solely on U-series and ESR dates from post-depositionally altered samples). Meanwhile, the dating of the upper levels has important implications for understanding the arrival of the Levallois method into the existing Acheulean and the transition to the Middle Paleolithic with the Mousterian culture of the Rhône Valley, as the Orgnac 3 sequence has been used as a key argument on the timing of Levallois emergence in Europe overall. Level 1 can only confidently be assigned a maximum date of 300 ka due to the erosional event between it and Level 2, and there is no way of providing a minimum date. The fossil fauna most likely represents a combination of both carnivore and hominin-acquired carcasses, and not only hominin hunting and butchering as proposed by other authors. The hominin remains have not been described in detail or assigned to a taxon.

Orgnac 3 has the potential to be one of the oldest, largest, richest, and most important Middle Pleistocene sites in Europe. Building upon the pioneering work of the 1960's and research since then, in-depth synthetic analysis of Orgnac 3's geological, archaeological and fossil material, and possible future excavations, have the potential and help answer the important questions about hominin morphological and behavioral evolution during the Middle Pleistocene in Europe.

ANNEXES

The documentary appendices are available in the *Mediterranean Prehistories* collection in Nakala's repository (Huma-Num).

BIBLIOGRAPHY

- Abi-Rached *et al.* 2011**, ABI-RACHED L., JOBIN M., KULKARNI S., MCWHINNIE A., DALVA K., GRAGERT L., BABRZADEH F., GHARIZADEH B., LUOM., PLUMMERFA., KIMANIJ., CARRINGTON M., MIDDLETON D., RAJALINGAM R., BEKSAC M., MARSH STEVEN G.E., MAIERS M., GUETHLEIN LISBETH A., TAVOULARIS S., LITTLE A.M., GREEN R.E., NORMAN P.J., PARHAM P., The Shaping of Modern Human Immune Systems by Multiregional Admixture with Archaic Humans, *Science*, 2011, 334, 6052, p. 89-94.
- Aouraghe 1990**, AOURAGHE H., Les Cervidés du site Pléistocène Moyen d'Orgnac 3 (Ardèche, France), *Quaternaire*, 1990, 3-4, p. 231-245.
- Aouraghe 1992**, AOURAGHE H., *Les Faunes de grands mammifères du site Pléistocène Moyen d'Orgnac 3 (Ardèche, France)*, Paris, Museum national d'histoire naturelle - Institut de Paléontologie humaine, 1992, Thèse de Doctorat : Quaternaire, paléontologie humaine, préhistoire, 495 p.
- Aouraghe 1999**, AOURAGHE H., Reconstitution du paléoenvironnement par les grands mammifères : les faunes du Pléistocène moyen d'Orgnac 3 (Ardèche, France), *L'Anthropologie (Paris)*, 1999, 103, 1, p. 177-184.
- Arsuaga Ferreras *et al.* 1993**, ARSUAGA FERRERAS J.L., MARTÍNEZ MENDIZÁBAL I., GRACIA TÉLLEZ A., CARRETERO DÍAZ J.M., CARBONELL ROURA E., Three new human skulls from the Sima de los Huesos Middle Pleistocene site in Sierra de Atapuerca, Spain, *Nature*, 1993, 362, p. 534-537.

- Arsuaga Ferreras et al. 1997**, ARSUAGA FERRERAS J.L., MARTÍNEZ MENDIZÁBAL I., GRACIA TÉLLEZ A., LORENZO C., The Sima de los Huesos crania (Sierra de Atapuerca, Spain). A comparative study, *Journal of human Evolution*, 1997, 33, 2-3, p. 219-281.
- Arsuaga Ferreras et al. 2014**, ARSUAGA FERRERAS J.L., MARTÍNEZ MENDIZÁBAL I., ARNOLD L.J., ARANBURU ARTANO A., GRACIA TÉLLEZ A., SHARP W.D., QUAM R.M., FALGUÈRES C., PANTOJA PÉREZ A., BISCHOFF J.L., POZA REY E.M., PARÉS CASANOVA J.M., CARRETERO J.M., DEMURO M., LORENZO C., SALA BURGOS M.T.N., MARTINÓN TORRES M., GARCÍA GARCÍA N., ALCÁZAR DE VELASCO RICO A., CUENCA BESCÓS G., GÓMEZ OLIVENCIA A., MORENO D., PABLOS FERNÁNDEZ A., SHEN C., RODRÍGUEZ L., ORTEGA MARTÍNEZ A.I., GARCÍA R., BONMATÍ LASSO A., BERMUDEZ DE CASTRO J.M., CARBONELL ROURA E., Neandertal roots: Cranial and chronological evidence from Sima de los Huesos, *Science*, 2014, 344, 6190, p. 1358-1363.
- Bahain et al. 2022**, BAHAIN J.-J., MERCIER N., VALLADAS H., FALGUÈRES C., MASAUDI H., JORON J.-L., FROGET L., MOIGNE A.-M., COMBIER J., MONCEL M.-H., Reappraisal of the chronology of Orgnac 3 Lower-to-Middle Paleolithic site (Ardèche, France), a regional key sequence for the Middle Pleistocene of southern France, *Journal of Human Evolution*, 2022, 162, p. 103092.
- Campbell 1977**, CAMPBELL J.B., *The Upper Palaeolithic of Britain: a study of man and nature in the late Ice Age*, Oxford, Clarendon Press, 1977, 264 + 376 p.
- Carbonell Roura & Rodríguez Alvarez 1994**, CARBONELL ROURA E., RODRÍGUEZ ALVAREZ X.P., Early Middle Pleistocene Deposits and Artifacts in the Gran-Dolina Site (Td4) of the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain), *Journal of human Evolution*, 1994, 4, p. 291-311.
- Chaline 1975**, CHALINE J., Les Rongeurs, l'âge et la chronologie climatique du remplissage de l'Aven I de la Fage (Corrèze), *Nouvelles Archives du Muséum d'Histoire naturelle de Lyon*, 1975, 13, p. 113-117.
- Claes et al. 2020**, CLAES H., TÖRÖK Á., SOETE J., MOHAMMADI Z., VASSILIEVA E., HAMAEEKERS H., ERTHAL M.M., ARATMAN C., CHENG H., EDWARDS R.L., SHEN C., ÖZKUL M., KELE S., MINDSZENTY A., SWENNEN R., U/Th dating and open system behavior: implications for travertines based on the study of Süttő (Hungary) and Ballik (Turkey) sites, *Quaternaire*, 2020, 31, 2, p. 117-132.
- Combiér 1963**, COMBIER J., Découverte d'un gisement acheuléen dans le bassin du Rhône, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 1963, 257, p. 201-203, 1 fig.
- Combiér 1967**, COMBIER J., *Le Paléolithique de l'Ardèche dans son cadre paléoclimatique*, Bordeaux, Imprimerie Delmas, 1967, 463 p. (Mémoire de l'Institut de Préhistoire de l'Université de Bordeaux ; 4).
- Combiér 1968**, COMBIER J., Compte-rendu des recherches préhistoriques effectuées en 1968 dans la circonscription Rhône-Alpes, *Compte-rendu d'activités annuelles - Association régionale pour le développement des recherches de paléontologie et de préhistoire et des amis du Muséum de Lyon*, 1968, p. 28-38.
- Combiér 1971**, COMBIER J., Le gisement pré-moustérien et acheuléen d'Orgnac, *Études préhistoriques*, 1971, 1, p. 24-26.
- Combiér 1979**, COMBIER J., *Unpublished Excavation Report*, s.l., s.n., 1979, n. p.
- Combiér 1989a**, COMBIER J., La "Garrigue" du Plateau d'Orgnac (Ardèche), *Terre Vive*, 1989a, 76, p. 14-22.
- Combiér 1989b**, COMBIER J., Autour d'Orgnac... La Préhistoire, *Terre Vive*, 1989b, 76, p. 23-26.
- Combiér 1996**, COMBIER J., Mattecarrinque ("Orgnac 3"), *Gallia Informations*, 1996, p. 46-48.
- Cook et al. 1982**, COOK J., STRINGER C.B., CURRANT A.P., SCHWARCZ H.P., WINTLE A.G., A Review of the Chronology of the European Middle Pleistocene Hominid Record, *Yearbook of Physical Anthropology*, 1982, 25, p. 19-65.
- Crégut-Bonnoure 1996**, CRÉGUT-BONNOURE É., A review of small Middle Pleistocene bears from France, *Acta Zoologica Cracoviensia*, 1996, 39, 1, p. 89-101.
- Crégut-Bonnoure 2002**, CRÉGUT-BONNOURE É., *Les Ovivovini, Caprini et Ovini (Mammalia, Artiodactyla, Bovidae, Caprinae) du Plio-Pleistocène d'Europe : systématique, évolution et biochronologie*, Université de Lyon I, 2002, Thèse de Doctorat d'État : Sciences, 2 vol., 429 p., 686 fig., 33 pl., 212 tabl.
- Cruz-Uribe 1991**, CRUZ-URIBE K., Distinguishing Hyena from Hominid Bone Accumulations, *Journal of Field Archaeology*, 1991, 18, p. 467-486.

- de Lumley 1976**, DE LUMLEY M.-A., Les Anténéandertaliens dans le sud, in *La Préhistoire française. Tome 1 : Les Civilisations paléolithiques et mésolithiques de la France*, Lumley (de) H. (dir.), Paris, Éditions du CNRS, 1976, p. 546-560.
- Debard 1988**, DEBARD É., *Le Quaternaire du Bas-Vivarais d'après l'étude des remplissages d'avens, de porches de grottes et d'abris sous roche : dynamique sédimentaire, paléoclimatologie et chronologie*, Lyon, Université Claude Bernard - Lyon I, 1988, 315 p. (Documents des Laboratoires de Géologie Lyon ; 103).
- Debard & Pastre 1988**, DEBARD É., PASTRE J.-F., Un marqueur chronostratigraphique du Pléistocène moyen à la périphérie du Massif Central : la retombée à clinopyroxène vert du Sancy dans le site acheuléen d'Orgnac III (Bas-Vivarais, SE France), *Comptes rendus de l'Académie des sciences (2)*, 1988, 306, p. 1515-1520.
- Delannoy et al. 2009**, DELANNOY J.-J., GAUCHON C., HOBLÉA F., JAILLET S., MAIRE R., PERRETTE Y., PERROUX A.-S., PLOYON E., VANARA N., Karst: from palaeogeographic archives to environmental indicators, *Géomorphologie. Relief, processus, environnement*, 2009, 2, p. 83-94.
- Dibble 1985**, DIBBLE H.L., Raw-Material Variation in Levallois Flake Manufacture, *Current Anthropology*, 1985, 26, p. 391-393.
- Djerrab 2001**, DJERRAB A., *Étude des propriétés magnétiques du remplissage de sites préhistoriques pléistocènes : contribution à l'étude stratigraphique, archéozoologique de leurs dépôts et à leur évolution géochimique post-dépositionnelle*, Université de Perpignan, 2001, Thèse de doctorat en Géologie du Quaternaire, 439 p.
- El Guennouni 2001**, EL GUENNOUNI K., *Les lapins du Pléistocène moyen et supérieur de quelques sites préhistoriques de l'Europe méditerranéenne : Terra-Amata, Orgnac 3, Baume Bonne, grotte du Lazaret, grotte du Boquete de Zafarraya, Arma delle Manie : étude paléontologique, taphonomique et archéozoologique*, Paris, Muséum national d'Histoire naturelle, 2001, Thèse de doctorat en Sciences naturelles, 403 p.
- El Hazzazi 1991**, EL HAZZAZI N., *Contribution à l'étude de la microfaune d'Orgnac 3 : données paléontologiques, paléoclimatiques et paléontologiques*, Muséum national d'histoire naturelle, 1991, Diplôme d'Études approfondies : Quaternaire, géologie, paléontologie humaine, préhistoire, 99 p.
- El Hazzazi 1998a**, EL HAZZAZI N., Apport du genre *Arvicola* (*Rodentia, Mammalia*) dans la connaissance de la chronostratigraphie des sites du Pléistocène moyen et supérieur : Orgnac 3, Payre 2 et l'Abri des Pêcheurs (Ardèche, France), in *Theoretical and methodological problems - Archaeometry - Paleoecology*, Arias C., Bietti A., Castelletti L. et al. (dir.), Forlì, A.B.A.C.O., 1998a, p. 125-133 (Actes du 13ème Congrès de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques, Forlì 1996).
- El Hazzazi 1998b**, EL HAZZAZI N., *Paléoenvironnement et chronologie des sites du pléistocène moyen et supérieur : Orgnac 3, Payre et abri des pêcheurs (Ardèche, France) d'après l'étude des rongeurs*, Paris, Muséum national d'Histoire naturelle, 1998b, Thèse de doctorat en Géologie, paléontologie humaine et préhistoire, 246 p.
- Falguères 1986**, FALGUÈRES C., *Datations de sites acheuléens et moustériens du Midi méditerranéen par la méthode résonance de spin électronique (ESR)*, Muséum national d'histoire naturelle, 1986, Thèse de Doctorat, 173 p.
- Falguères et al. 1988**, FALGUÈRES C., SHEN G., YOKOYAMA Y., Datation de l'Aven d'Orgnac III : Comparaison par les méthodes de la résonance de spin électronique (ESR) et du déséquilibre des familles de l'uranium, *L'Anthropologie (Paris)*, 1988, 92, 2, p. 727-730.
- Falguères et al. 2008**, FALGUÈRES C., BAHAIN J.-J., TOZZI C., BOSCHIAN G., DOLO J.-M., MERCIER N., VALLADASH., YOKOYAMA Y., ESR/U-series chronology of the Lower Palaeolithic palaeoanthropological site of Visogliano, Trieste, Italy, *Quaternary Geochronology*, 2008, 3, 4, p. 390-398.
- Falguères et al. 2015**, FALGUÈRES C., SHAO Q., HAN F., BAHAIN J.-J., RICHARD M., PERRENOUD C., MOIGNE A.-M., DE LUMLEY H., New ESR and U-series dating at Caune de l'Arago, France: A key-site for European Middle Pleistocene, *Quaternary Geochronology*, 2015, 30B "LED14 Proceedings / Rainer Grün & Frank Preusser", p. 547-553.
- Forsten & Moigne 1998**, FORSTEN A., MOIGNE A.-M., The horse from the middle Pleistocene of Orgnac-3 (Ardèche, France), *Quaternaire*, 1998, 9, 4, p. 315-322.
- Fourvel 2012**, FOURVEL J.-B., *Hyéniidés modernes et fossiles d'Europe et d'Afrique : taphonomie comparée de leurs assemblages osseux*, Université Toulouse le Mirail – Toulouse II, 2012, Thèse de Doctorat Archéologie et Préhistoire, 597 p.

- Fu et al. 2014**, FU Q., LI H., MOORJANI P., JAY F., SLEPCHENKO S.M., BONDAREV A.A., JOHNSON P.L.F., AXIMU-PETRI A., PRUFER K., DE FILIPPO C., MEYER M., ZWYNS N., SALAZAR GARCÍA D.C., KUZMIN Y.V., KEATES S.G., KOSINTSEV P.A., RAZHEV D.I., RICHARDS M.P., PERISTOV N.V., LACHMANN M., DOUKA K., HIGHAM T.F.G., SLATKIN M., HUBLIN J.-J., REICH D., KELSO J., VIOLA B., PAABO S., Genome sequence of a 45,000-year-old modern human from western Siberia, *Nature*, 2014, 514, 7523, p. 445-449.
- Gagnepain & Gaillard 2005**, GAGNEPAIN J., GAILLARD C., La grotte de la Baume Bonne (Quinson, Alpes-de-Haute-Provence) : synthèse chronostratigraphique et séquence culturelle d'après les fouilles récentes (1988-1997), in *Les premiers peuplements en Europe : colloque international [...]*, Rennes, 22-25 septembre 2003, Molines N., Moncel M.-H., Monnier J.-L. (dir.), Oxford, John and Erica Hedges Ltd, 2005, p. 73-85 (British archaeological Reports - International Series; 1364).
- Gamble 1986**, GAMBLE C.S., *The Palaeolithic settlement of Europe*, Cambridge, University Press, 1986, 471 p., couv. ill.
- Gandin & Capezzuoli 2008**, GANDIN A., CAPEZZUOLI E., Travertine Versus Calcareous Tufa: Distinctive Petrologic Features and Stable Isotopes Signatures, *Il Quaternario*, 2008, 21, 1B, p. 125-136.
- Grün 1996**, GRÜN R., A re-analysis of electron spin resonance dating results associated with the Petralona hominid, *Journal of human Evolution*, 1996, 30, 3, p. 227-242.
- Guérin 1980**, GUÉRIN C., *Les rhinocéros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pléistocène supérieur en Europe occidentale : comparaison avec les espèces actuelles*, Lyon, Université Claude Bernard - Lyon I, 1980, 1188 p. (Documents des Laboratoires de Géologie Lyon ; 79).
- Higham et al. 2014**, HIGHAM T., DOUKA K., WOOD R.E., RAMSEY C.B., BROCK F., BASELL L., CAMPS CALBET M., ARRIZABALAGA VALBUENA A., BAENA PREYSLER J., BARROSO RUIZ C., BERGMAN C.A., BOITARD C., BOSCATO P., CAPARROS M., CONARD N.J., DRAILY C., FROMENT A., GALVÁN SANTOS B., GAMBASSINI P., GARCIA MORENO A., GRIMALDI S., HAESAERTS P., HOLT B.M., IRIARTE CHIAPUSSO M.J., JELINEK A.J., JORDÁ PARDO J.F., MAILLÓ FERNÁNDEZ J.M., MAROM A., MAROTO GENOVER J., MENENDEZ M., METZ L., MORIN E., MORONI A., NEGRINO F., PANAGOPOULOU E., PERESANI M., PIRSON S., LA RASILLA VIVES (DE) M., RIEL-SALVATORE J., RONCHITELLI A., SANTAMARÍA ALVAREZ D., SEMAL P., SLIMAK L., SOLER SUBILS J., SOLER MASFERRER N., VILLALUENGA MARTÍNEZ A., PINHASI R., JACOBI R.M., The timing and spatiotemporal patterning of Neanderthal disappearance, *Nature*, 2014, 512, 7514, p. 306-309, + supplementary information (162 p.).
- Hublin 2007**, HUBLIN J.-J., What Can Neanderthals Tell Us About Modern Origins?, in *Rethinking the Human Revolution*, Mellars P.A., Boyle K.V., Bar-Yosef O. et al. (dir.), Cambridge, McDonald Institute for Archaeological Research, 2007, p. 235-249.
- Hublin 2009**, HUBLIN J.-J., The origin of Neandertals, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106, 38, p. 16022-16027.
- Isaac 1975**, ISAAC G.L., Sorting out the muddle in the middle: an anthropologist's post-conference appraisal, in: *After the australopithecines*, Butzer K.W., Isaac G.L., Wenner-Gren foundation for anthropological research (dir.), The Hague, Mouton 1975, p. 875-888.
- Jaillet et al. 2007**, JAILLET S., DELANNOY J.-J., BERSIHAND J.-L., NOURY M., SADIÉ B., TOCINO S., L'aven d'Orgnac : un grand réseau paragenétique, étude spéléogénétique des grands volumes karstifiés, in *L'aven d'Orgnac : valorisation touristique, apports scientifiques*, Delannoy J.-J., Gauchon C., Jaillet S. (dir.), Le Bourget-du-Lac, UMR5204 Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM), 2007, p. 57-78 (Collection EDYTEM - Cahiers de Géographie ; 5).
- Jeannet 1974**, JEANNET M., *Les Rongeurs d'Orgnac 3 (Ardèche)*, Université de Lyon, 1974, Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées, 113 p.
- Jeannet 1981**, JEANNET M., Les rongeurs du gisement acheuléen d'Orgnac 3 (Ardèche) : essai de paléocologie et de chronostratigraphie, *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon*, 1981, 50, 2, p. 49-71.
- Jeannet 2000**, JEANNET M., Biométrie et écologie de *Microtus brecciensis* (Mammalia, Rodentia), *Revue de Paléobiologie*, 2000, 19, 2, p. 339-357.
- Khatib 1989**, KHATIB S., *Le site d'Orgnac 3 (Ardèche, France) : étude sédimentologique et géochimique - cadre chronologique et évolution paléoclimatique*, Paris, Muséum national d'Histoire naturelle, 1989, Thèse de Doctorat du Muséum national d'Histoire naturelle : Quaternaire, 209 p., 45 fig. & tabl.

- Khatib 1994**, KHATIB S., Datation des cendres volcaniques et analyses géochimiques du remplissage d'Orgnac 3 (Ardèche, France), *Quaternaire*, 1994, 5, p. 13-22.
- Klein 1987**, KLEIN R.G., Reconstructing how early people exploited animals: Problems and prospects, in *The evolution of human hunting*, Nitecki M.H., Nitecki D.V. (dir.), New York, Plenum Press, 1987, p. 11-45.
- Kolen 1999**, KOLEN J., Hominids without homes: on the nature of Middle Palaeolithic settlement in Europe, in *The Middle Palaeolithic Occupation of Europe*, Roebroeks W., Gamble C.S. (dir.), Leiden, University, 1999, p. 139-176.
- Laafar 1995**, LAAFAR S., *Étude de microfaciès sédimentaires, pédologiques et archéologiques aux remplissages de grottes en milieu méditerranéen (Orgnac III et Lazaret, France)*, Paris, Muséum national d'Histoire naturelle, 1995, Thèse de Doctorat : Terre, océan, espace, 193 p.
- Laafar et al. 2008**, LAAFAR S., ABDESSADOK S., DJERRAB A., Caractérisation des foyers préhistoriques : apport de la susceptibilité magnétique et de la micromorphologie des sols (Orgnac 3, Lazaret et abri Pataud, France), in *Le Quaternaire marocain dans son contexte méditerranéen : actes de la quatrième rencontre des quaternaristes marocains (RQM4)*, Oujda, 15-17 novembre 2007. Vol. 2, paléontologie, taphonomie & préhistoire Aouraghe H., Haddoumi H., El Hammouti K. (dir.), Oujda, Université Mohamed Ier, 2008, p. 447-460.
- Lebon et al. 2010**, LEBON M., REICHE I., BAHAIN J.-J., CHADEFaux C., MOIGNE A.-M., FRÖHLICH F., SÉMAH F., SCHWARCZ H.P., FALGUÈRES C., New parameters for the characterization of diagenetic alterations and heat-induced changes of fossil bone mineral using Fourier transform infrared spectrometry, *Journal of Archaeological Science*, 2010, 37, 9, p. 2265-2276.
- Lewin 1997**, LEWIN R., *Bones of contention: controversies in the search for human origins* 2nd edition, Chicago, University of Chicago Press, 1997, 366 p.
- Lewis 2011**, LEWIS J.E., *Taphonomy And Zooarchaeology of The Middle Pleistocene Site of Orgnac 3 (Ardèche Valley, Southeastern France)*, Department of Anthropological Sciences - Stanford University, 2011, PhD Dissertation, 440 p.
- MacDonald et al. 2021**, MACDONALD K., SCHERJON F., VAN VEEN E., VAESSEN K., ROEBROEKS W., Middle Pleistocene fire use: The first signal of widespread cultural diffusion in human evolution, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2021, 118, 31, p. e2101108118.
- Martínez et al. 2013**, MARTÍNEZ K., GARCIA J., CARBONELL ROURA E., Hominin multiple occupations in the Early and Middle Pleistocene sequence of Vallparadís (Barcelona, Spain), *Quaternary International*, 2013, 316 "Middle to Upper Palaeolithic biological and cultural shift in Eurasia II", p. 115-122.
- Martínez Aguirre et al. 2019**, MARTÍNEZ AGUIRRE A., ALCARAZ PELEGRINA J.M., RODRÍGUEZ VIDAL J., U/Th dating of impure carbonates: $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ activity ratios in detrital material, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2019, 321, p. 71-81.
- Masaoudi 1995**, MASAOUDI H., *Application des méthodes du déséquilibre des familles de l'uranium ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) et de la résonance de spin électronique (ESR) à la datation des sites d'Orgnac 3, de Payre, et de l'Abri des Pêcheurs (Ardèche)*, Paris, Muséum national d'histoire naturelle, 1995, Thèse de Doctorat : Quaternaire, 155 p.
- Mathias et al. 2021**, MATHIAS C., VIALLET C., MOIGNE A.-M., Diversité des outils et des activités de percussion à la fin du MIS 9 dans le niveau 6 d'Orgnac 3 (Ardèche, France), *Comptes Rendus Palevol*, 2021, 20, 11, p. 175-198.
- Mellars et al. 2007**, MELLARS P., BOYLE K.V., BAR-YOSEF O., STRINGER C.B., *Rethinking the human revolution: new behavioural and biological perspectives on the origin and dispersal of modern humans*, Cambridge, McDonald Institute for Archaeological Research - University of Cambridge, 2007, 436 p. (McDonald Institute Monographs).
- Meyer et al. 2014**, MEYER M., FU Q., AXIMU-PETRI A., GLOCKE I., NICKEL B., ARSUAGA FERRERAS J.L., MARTINEZ I., GRACIA TÉLLEZ A., BERMUDEZ DE CASTRO J.M., CARBONELL ROURA E., PAABO S., A mitochondrial genome sequence of a hominin from Sima de los Huesos, *Nature*, 2014, 505, 7483, p. 403-406.
- Meyer et al. 2016**, MEYER M., ARSUAGA FERRERAS J.L., DE FILIPPO C., NAGEL S., AXIMU-PETRI A., NICKEL B., MARTÍNEZ MENDIZÁBAL I., GRACIA TÉLLEZ A., BERMUDEZ DE CASTRO J.M., CARBONELL ROURA E., VIOLA B., KELSO J., PRÜFER K., PÄÄBO S., Nuclear DNA sequences from the Middle Pleistocene Sima de los Huesos hominins, *Nature*, 2016, 531, 7595, p. 504-507.
- Michel et al. 2011**, MICHEL V., SHEN G., SHEN C., FORNARI M., VÉRATI C., GALLET S., SABATIER D., Les derniers *Homo heidelbergensis* et leurs descendants les néandertaliens : datation des sites d'Orgnac 3, du Lazaret et de Zafarraya, *Comptes Rendus Palevol*, 2011, 10, 7, p. 577-587.

- Michel et al. 2013**, MICHEL V., SHEN G., SHEN C., WU C., VÉRATI C., GALLET S., MONCEL M.-H., COMBIER J., KHATIB S., MANETTI M., Application of U/Th and ⁴⁰Ar/³⁹Ar Dating to Orgnac 3, a Late Acheulean and Early Middle Palaeolithic Site in Ardèche, France *PLoS ONE*, 2013, 8, 12, p. e82394.
- Moigne & Barsky 1999**, MOIGNE A.-M., BARSKY D.R., Large mammal assemblages from Lower Palaeolithic sites in France: La Caune de l'Arago, Terra Amata, Orgnac 3 and Cagny l'Épinette, in *The role of early humans in the accumulation of European lower and middle Palaeolithic bone assemblages*, Gaudzinski S., Turner E. (dir.), Mainz, Römisches Germanisches Zentralmuseum - Forschungsinstitut für Vor- und Frühgeschichte, 1999, p. 219-236 (Monographien; 42).
- Moncel 1996**, MONCEL M.-H., Les niveaux profonds du site pléistocène moyen d'Orgnac : habitat, repaire, aven-piège ? L'exemple du niveau 6, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 1996, 93, 4, p. 470-481.
- Moncel 1999**, MONCEL M.-H., *Les assemblages lithiques du site pléistocène moyen d'Orgnac 3 (Ardèche, moyenne vallée du Rhône, France). Contribution à la connaissance du Paléolithique moyen ancien et du comportement technique différentiel des hommes au Paléolithique inférieur et au Paléolithique moyen*, Liège, Service de Préhistoire - Université, 1999, 446 p. (Études et Recherches archéologiques de l'Université de Liège (ERAUL) ; 89).
- Moncel et al. 2005**, MONCEL M.-H., MOIGNE A.-M., COMBIER J., Pre-Neandertal behaviour during isotopic stage 9 and the beginning of stage 8: new data concerning fauna and lithics in the different occupation levels of Orgnac 3 (Ardèche, South-East France): occupation types, *Journal of archaeological Science*, 2005, 32, 9, p. 1283-1301.
- Moncel et al. 2008**, MONCEL M.-H., CRÉGUT É., DAUJEARD C., LARTIGOT A.-S., LEBON M., PUAUD S., BOULBES N., CROIZET S., Le site de la baume Flandin (commune d'Orgnac-l'Aven) : nouvelles données sur ce gisement du Paléolithique moyen = The site of the Baume Flandin (Orgnac-l'Aven): New data on this Middle Palaeolithic site, *Comptes Rendus Palevol*, 2008, 7, 5, p. 315-325.
- Moncel et al. 2011**, MONCEL M.-H., MOIGNE A.-M., SAM Y., COMBIER J., The Emergence of Neandertal Technical Behavior: New Evidence from Orgnac 3 (Level 1, MIS 8), Southeastern France, *Current Anthropology*, 2011, 52, 1, p. 37-61.
- Moncel et al. 2012**, MONCEL M.-H., MOIGNE A.-M., COMBIER J., Towards the Middle Palaeolithic in Western Europe: The case of Orgnac 3 (southeastern France), *Journal of Human Evolution*, 2012, 63, 5, p. 653-666.
- Moncel et al. 2020**, MONCEL M.-H., ASHTON N.M., ARZARELLO M., FONTANA F., LAMOTTEA, SCOTT B., MUTTILLO B., BERRUTI G.L.F., NENZIONI G., TUFFREAU A., PERETTO C., Early Levallois core technology between Marine Isotope Stage 12 and 9 in Western Europe, *Journal of Human Evolution*, 2020, 139, p. 102735.
- Moncel & Combiér 1992a**, Moncel, M.-H., Combiér, J., Industrie lithique du site pléistocène moyen d'Orgnac 3 (Ardèche), *Gallia Préhistoire*, 1992, 34, p. 1-55.
- Moncel & Combiér 1992b**, Moncel, M.-H., Combiér, J., L'outillage sur éclat dans l'industrie lithique du site pléistocène moyen d'Orgnac 3 (Ardèche, France), *L'Anthropologie*, 1992, 96, p. 5-48.
- Monnier et al. 2006**, MONNIER G.F., [WITH COMMENT BY], BISSON M.S., KLEIN R.G., MCNABB J., FLUCKH., MONCEL M.-H., STRAUS L.G., TUFFREAU A., The Lower/Middle Paleolithic Periodization in Western Europe: an Evaluation *Current Anthropology*, 2006, 47, 5, p. 709-744.
- Morales Pérez & Sanchis Serra 2009**, MORALES PÉREZ J.V., SANCHIS SERRA A., The Quaternary fossil record of the genus *Testudo* in the Iberian Peninsula: archaeological implications and diachronic distribution in the western Mediterranean, *Journal of archaeological Science*, 2009, 36, 5, p. 1152-1162.
- Mourer-Chauviré 1975a**, MOURER-CHAUVIRÉ C., Faunes d'oiseaux du pléistocène de France : systématique, évolution et adaptation, interprétation paléoclimatique, *Geobios*, 1975a, 8, 5, p. 333-352, 6 fig., 1 pl.
- Mourer-Chauviré 1975b**, MOURER-CHAUVIRÉ C., *Les oiseaux du Pléistocène moyen et supérieur de France*, Université Claude-Bernard - Lyon I, 1975b, Thèse d'État : Sciences, 2 vol., 624 p.
- Paunescu 2007**, PAUNESCO A.-C., Les rongeurs (Rodentia, Mammalia) d'Orgnac-3 (Ardèche, France). Étude paléontologique et paléoécologique, *Buletinul Muzeului "Teohari Antonescu" Giurgiu*, 2007, 9, 9-12, p. 11-94.
- Pedley 1990**, PEDLEY H.M., Classification and environmental models of cool freshwater tufas, *Sedimentary Geology*, 1990, 68, 1-2, p. 143-154.
- Prüfer et al. 2014**, PRÜFER K., RACIMO F., PATTERSON N., JAY F., SANKARARAMAN S., SAWYER S., HEINZE A., RENAUD G., SUDMANT P.H., DE FILIPPO C., LI H., MALLICK S., DANNEMANN M., FU Q., KIRCHER M., KUHLWILM M., LACHMANN M., MEYER M., ONGYERTH M., SIEBAUER M.,

- THEUNERT C., TANDON A., MOORJANI P., PICKRELL J., MULLIKIN J.C., VOHR S.H., GREEN R.E., HELLMANN I., JOHNSON P.L.F., BLANCHE H., CANN H., KITZMAN J.O., SHENDURE J., EICHLER E.E., LEIN E.S., BAKKEN T.E., GOLOVANOVA L.V., DORONICHEV V.B., SHUNKOV M.V., DEREVIANKO A.P., VIOLA B., SLATKIN M., REICH D., KELSO J., PÄÄBO S., The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains, *Nature*, 2014, 505, 7481, p. 43-49.
- Reich et al. 2010**, REICH D., GREEN R.E., KIRCHER M., KRAUSE J., PATTERSON N., DURAND E., VIOLA B., BRIGGS A.W., STENZEL U., JOHNSON P.L.F., MARICIC T., GOOD J.M., MARQUES BONET T., ALKAN C., FU Q., MALLICK S., LI H., MEYER M., EICHLER E.E., STONEKING M., RICHARDS M.P., TALAMO S., SHUNKOV M.V., DEREVIANKO A.P., HUBLIN J.-J., KELSO J., SLATKIN M., PAABO S., Genetic history of an archaic hominin group from Denisova Cave in Siberia, *Nature*, 2010, 468, 7327, p. 1053-1060.
- Rightmire 1998**, RIGHTMIRE G.P., Human evolution in the middle Pleistocene: the role of *Homo heidelbergensis*, *Evolutionary Anthropology*, 1998, 6, 6, p. 218-227.
- Rightmire 2008**, RIGHTMIRE G.P., *Homo* in the Middle Pleistocene: Hypodigms, variation, and species recognition, *Evolutionary Anthropology*, 2008, 17, 1, p. 8-21.
- Roebroeks & Villa 2011**, ROEBROEKS W., VILLA P., On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108, 13, p. 5209-5214.
- Sam 2009**, SAM Y., *Étude paléontologique, archéozoologique et taphonomique des grands mammifères du site Pléistocène moyen d'Orgnac 3 (Ardèche, France)*, Université de Perpignan, 2009, Thèse de doctorat en Préhistoire. Archéozoologie.
- Shea 2009**, SHEA J.J., The Impact of Projectile Weaponry on Late Pleistocene Hominin Evolution, in: *The evolution of hominin diets: integrating approaches to the study of palaeolithic subsistence*, Hublin J.-J., Richards M.P. (dir.), Amsterdam, Springer, 2009, p. 189-199.
- Shen 1985**, SHEN G., *Datation des planchers stalagmitiques de sites acheuléens en Europe par les méthodes des déséquilibres des familles de l'uranium et contribution méthodologique*, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) / Museum national d'Histoire naturelle, 1985, Thèse de doctorat d'État, 162 p.
- Sommer et al. 2007**, SOMMER R.S., PERSSONA A., WIESEKE N., FRITZ U., Holocene recolonization and extinction of the pond turtle, *Emys orbicularis* (L., 1758), in Europe, *Quaternary Science Reviews*, 2007, 26, 25-28, p. 3099-3107.
- Srdoč et al. 1994**, SRDOČ D., OSMOND J.K., HORVATINČIĆ N., DABOUS A.A., OBELIĆ B., Radiocarbon and Uranium-Series Dating of the Plitvice Lakes Travertines, *Radiocarbon*, 1994, 36, 2, p. 203-219.
- Stuart 1982**, STUART A.J., *Pleistocene vertebrates in the British Isles* London, Longman, 1982, 212 p.
- Sutcliffe 1985**, SUTCLIFFE A.J., *On the Track of Ice Age Mammals*, London, British Museum of Natural History, 1985, 224 p.
- Testu 2006**, TESTU A., *Étude paléontologique et biostratigraphique des Felidae et Hyaenidae pléistocènes d'Europe méditerranéenne. (sites de la Caune de l'Arago, Orgnac 3, le Portel-Ouest, Bize-Tournal, l'Hortus, la Crouzade en France, la Covade de l'Arbreda en Espagne, Karain E en Turquie)*, Université de Perpignan, 2006, Thèse de doctorat en Préhistoire, 320 p.
- Tillier & Vandermeersch 1976**, TILLIER A.-M., VANDERMEERSCH B., Les Cynomorphes, in *La Préhistoire française. Tome 1 : Les Civilisations paléolithiques et mésolithiques de la France*, de Lumley H. (dir.), Paris, Éditions du CNRS, 1976, p. 367-370.
- Villa 1977**, VILLA P., Sols et niveaux d'habitat du Paléolithique inférieur en Europe et au Proche-Orient, *Quaternaria*, 1977, 19, p. 107-134.
- Weaver et al. 2008**, WEAVER T.D., ROSEMAN C.C., STRINGER C.B., Close correspondence between quantitative- and molecular-genetic divergence times for Neanderthals and modern humans, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105, 12, p. 4645-4649.

